

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Technicko – provozní hodnocení hybridních pohonů
silničních vozidel**

**Technical and Operational Evaluation of Road
Vehicles Hybrid Drives**

Student:

Petr Kaplan

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Richtář

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Kaplan**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 10 Dopravní technika
Téma: Technicko - provozní hodnocení hybridních pohonů silničních vozidel
Technical and Operational Evaluation of Road Vehicles Hybrid Drives

Zásady pro vypracování:

Cíl: Cílem práce je analyzovat technická řešení hybridních a elektrických pohonů silničních vozidel a zhodnotit nasazení takto řešených autobusů v provozu MHD.

Osnova:

1. Úvod
2. Legislativní požadavky a předpisy
3. Technická řešení hybridních pohonů
4. Provozní hodnocení systémů u autobusů
5. Zhodnocení a doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: Alfa Bratislava. 1990. ISBN 80-05-00392-7
2. Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy II. Bratislava: Alfa Bratislava. 1994. ISBN 80-7100-074-4

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě20.5.2011.....

.....*Petr Kayhan*.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě20.5.2011.....

.....Petr Kaplan.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Kaplan

Adresa trvalého pobytu autora práce: České Libchavy 20, 561 14

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KAPLAN, P. Technicko – provozní hodnocení hybridních pohonů silničních vozidel: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 53 s. Vedoucí práce: Richtář, M.

Tato bakalářská práce se zabývá technicko – provozním hodnocením hybridních pohonů silničních vozidel. V úvodu se zabývá přehledem legislativních požadavků a předpisů týkajících se provozu vozidel s hybridním pohonem a elektromobilů. Dále je v práci uvedeno základní rozdělení hybridních pohonů a elektromobilů. Na konci této kapitoly je podrobnější popis vozidla SOR NBH 18 s hybridním pohonem a vozidla SOR EBN 10,5, které je poháněno elektrickým motorem. V následující kapitole Provozní hodnocení systémů u autobusů jsou tyto dva typy autobusů porovnávány s autobusy SOR NB 18 a SOR BN 10,5 se spalovacím motorem. Získané hodnoty jsou poté zhodnoceny v kapitole Hodnocení a doporučení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KAPLAN, P. Technical and Operational Evaluation of Road Vehicles Hybrid Drives : Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2011, 53 p. Thesis head: Richtář, M.

This thesis deals with the technical - operational evaluation of hybrid road vehicles. The introduction deals with an overview of legal requirements and regulations concerning the operation of hybrid vehicles and electric vehicles. The study also indicated the basic distribution of hybrid and electric drives. At the end of this chapter is a detailed description of the vehicle SOR NBH 18 with hybrid vehicles and SOR EBN 10.5, which is powered by an electric motor. The next section reviews operational systems for the bus are two types of buses compared with the bus SOR NB 18 and SOR BN 10.5 with an internal combustion engine. The values obtained are then evaluated in chapter reviews and recommendations.

Obsah

Seznam použitých zkratk	1
1. Úvod	3
2. Legislativní požadavky a předpisy	4
3 Technické řešení hybridních pohonů	6
3.1 Hybridní pohon	6
3.1.1 Sériové uspořádání	6
3.1.2 Paralelní uspořádání	7
3.1.3 Kombinované pohony	8
3.2 Akumulátory energie	10
3.2.1 Akumulace energie elektrochemickou reakcí	10
3.2.2 Mechanický akumulátor energie	13
3.2.3 Superkapacitor	14
3.3 Elektrické motory	15
3.3.1 Stejnosměrný motor se sériovým buzením	15
3.3.2 Stejnosměrný motor s paralelním buzením	16
3.3.3 Stejnosměrný motor se smíšeným buzením	16
3.3.4 Asynchronní třífázový elektrický motor	16
3.4 Převodovky	16
3.5 Společnost SOR Libchavy spol. s r. o.	17
3.6 Elektrobus	17
3.7 Autobus s hybridním pohonem	18
3.7.1 Ev drive	19
3.7.2 Dvojitý výkonový měnič (DPIM)	19
3.7.3 Systém uchovávání energie (ESS)	20
3.7.4 Volič stupňů	20
4 Provozní hodnocení systémů u autobusu	21
4.1 Hodnocení střední vzdálenosti mezi poruchami	24
4.1.1 Autobus SOR BN 10,5	24
4.1.2 Autobus SOR EBN 10,5	29
4.1.3 Autobus SOR NB 18	33
4.2 Hodnocení spotřeby paliva, AdBlue a produkce emisí	36
4.2.1 Autobus SOR BN 10,5	37
4.2.2 Autobus SOR NB 18	39
4.3 Hodnocení spotřeby el. energie, paliva a produkce emisí autobusu SOR EBN 10,5	42

5 Zhodnocení a doporučení.....	48
6 Závěr	50
7 Seznam použité literatury	51
8 Seznam příloh	53

Seznam použitých zkratk

10 084	$[\text{g} \cdot \text{galon}^{-1}]$	emise CO ₂ z 1 galonu motorové nafty
3,7584	$[-]$	přepočet z 1 galonu na 1 litr
e CO ₂	$[\text{g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1}]$	emise CO ₂ při spalování motorové nafty na 1 km
e CO ₂	$[\text{g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1}]$	množství emisí pro výrobu el. energie na 1 km jízdy elektrobuse
e CO ₂ 1 km os	$[\text{g CO}_2 \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}]$	emise CO ₂ na 1 km, na 1 osobu
e _{el}	$[\text{g CO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}]$	emise vzniklé při výrobě 1 kWh v elektrárně
f(l)	$[-]$	hustota pravděpodobnosti
F(l)	$[-]$	pravděpodobnost poruchy
F _i (m)	$[-]$	mediánové pořadí
H _{jízda}	$[\text{km} \cdot 1 \%^{-1}]$	počet ujetých km na 1 % akumulátoru
H _{nabíjení}	$[\text{kW} \cdot 1 \%^{-1}]$	počet kW na nabití 1 % akumulátoru
l ₀	$[\text{km}]$	parametr měřítka
l _i	$[\text{km}]$	vzdálenost mezi poruchami
l _{max}	$[\text{km}]$	maximální hodnota
l _{min}	$[\text{km}]$	minimální hodnota
Ls	$[\text{km}]$	střední hodnota
m	$[-]$	parametr tvaru Weibullova rozdělení
N _{ABl}	$[\text{Kč} \cdot \text{l}^{-1}]$	cena za 1 litr přísady AdBlue
N _{C1}	$[\text{Kč} \cdot \text{km}^{-1}]$	náklady za palivo a přísadu do výfuk. soustavy na 1 km
N _{C1o}	$[\text{Kč} \cdot 1 \text{ místo}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}]$	náklady za palivo, AdBlue na 1 km, na 1 osobu
N _{el.en}	$[\text{Kč}]$	cena 1 kWh el. energie
N _{el.en a MN}	$[\text{Kč} \cdot \text{km}^{-1}]$	cena paliva a el. energie na 1 km
N _{MN}	$[\text{Kč}]$	cena 1 litru paliva
n _{osob}	$[-]$	počet osob v době sedla pro dané vozidlo
R(l)	$[-]$	pravděpodobnost bezporuchového provozu
r _i	$[-]$	<i>i-tá</i> absolutní četnost
Δ _{dobití aku.}	$[\%]$	rozdíl dobití akumulátoru
Δ _{elektr.}	$[\text{kWh}]$	rozdíl stavu elektroměru
Δ _{nabití akumul.}	$[\%]$	rozdíl nabití mezi koncem a začátkem jízdy

S_{AB}	$[l \cdot 100 \text{ km}^{-1}]$	spotřeba AdBlue na 100 km
S_{AB1}	$[l \cdot \text{km}^{-1}]$	spotřeba AdBlue na 1 km
S_{AB100}	$[-]$	spotřeba AdBlue na 100 litrů paliva
$S_{el.en}$	$[\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}]$	spotřeba el. energie na 1 km
$S_{el.en,pr}$	$[\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}]$	průměrná spotřeba el. energie elektrobuse na 1km
S_p	$[l \cdot 100 \text{ km}^{-1}]$	spotřeba paliva
Γ	$[-]$	gama funkce (tabelovaná)
$\Delta_{el.en}$	$[\text{kWh}]$	rozdíl stavu elektroměru
Δl	$[\text{km}]$	rozdíl stavu tachometru
ΔL	$[\text{km}]$	šířka třídy

1. Úvod

Energetická účinnost systémů pohonu vozidel, je v dnešní době jedním z nejdůležitějších témat. Důvodem jsou zvyšující se náklady na palivo, přísnější normy a předpisy týkající se produkce výfukových emisí, jejichž výsledkem je příznivější vliv na životní prostředí. S ohledem na stále se zvyšující požadavky na vyšší efektivitu byly v posledních několika letech vyvinuty, nebo výrazně zdokonaleny některé části pohonného systému.

Možným řešením, jak zefektivnit provoz vozidel je úprava pohonného systému. Mezi takové úpravy lze považovat hybridní pohon. Vozidlo s hybridním pohonem je vozidlo využívající k pohonu několik, nejčastěji však dva odlišné zdroje energie. Nejčastěji je k pohonu využit spalovací motor a elektrický motor. Elektronický řídicí systém řídí činnost obou zdrojů pohonu tak, aby při jejich činnosti docházelo k nejvýhodnějšímu režimu spolupráce. Případně elektromobily, které uchovávají potřebnou energii v trakčních akumulátorech. V případě rekuperace je kinetická energie přeměněna na energii elektrickou, kterou jsou akumulátory zpětně dobíjeny. Hlavními důvody úprav pohonných systémů je využívat takové dopravní prostředky, které budou jen minimálně negativně ovlivňovat životní prostředí a lidské zdraví.

2. Legislativní požadavky a předpisy

Normy: ČSN EN 1821–1 (300255) Elektricky pohaněna silniční vozidla

Norma platící pro elektricky pohaněná vozidla, ve které jsou popsány pravidla, podmínky a postupy zkušebních metod pro měření silničních výkonů elektricky pohaněných silničních vozidel. Na konci je uvedena zpráva o zkoušce a naměřené hodnoty v tabulce. Tato norma obsahuje následující tři části:

Část 1: Elektrická vozidla

Část 2: Tepelná hybridní vozidla

Část 3: Hybridní vozidla ostatní [1]

ČSN EN 13447 (30251) Elektricky pohaněná silniční vozidla – Terminologie

V této normě jsou uvedeny definice, které jsou užívány v evropských zemích pro silniční vozidla s elektrickým pohonem. Tato norma obsahuje všechny pojmy, týkající se elektrického pohonu. Norma je dělena na:

Typy elektrického pohonu silničních vozidel

Jízdní režimy [1]

Mezinárodní norma ISO 6469 zabývající se bezpečností elektromobilů. Norma je rozdělena do tří částí:

Část 1: Skladování baterií na palubě vozidla

Část 2: Funkčnost zařízení a ochrana proti selhání

Část 3: Ochrana osob před elektrickým nebezpečím [7]

Předpis EHK č. 10

Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska elektromagnetické kompatibility (EMC) [8]

Předpis EHK č. 100

Jednotná ustanovení pro homologaci bateriových elektrických vozidel z hlediska specifických požadavků na konstrukci a na funkční bezpečnost. [8]

Zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem

vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla).

Vyhláška č. 341/2002 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění vyhlášky č. 283/2009 Sb. [10]

ČSN EN 1821 – 2	Elektricky poháněná silniční vozidla – Měření schopnosti provozu na silnici – Část 2: Hybridní tepelně elektrická vozidla
ČSN EN 1821 – 2	Elektricky poháněná silniční vozidla – Měření schopnosti provozu na silnici – Část 2: Hybridní tepelně elektrická vozidla
ČSN EN 1986 – 1	Elektricky poháněná silniční vozidla – Měření energetických vlastností – Část 1: Výhradně elektrická vozidla
ČSN EN 1986 – 2	Elektricky poháněná silniční vozidla – Měření energetických vlastností – Část 2: Hybridní elektrická vozidla s tepelným motorem
ČSN EN 1987 – 1	Elektricky poháněná silniční vozidla – Zvláštní požadavky na bezpečnost – Část 1: Skladování energie na vozidle
ČSN EN 1987 – 2	Elektricky poháněná silniční vozidla – Zvláštní požadavky na bezpečnost – Část 2: Prostředky funkční bezpečnosti a ochrana před poruchami
ČSN EN 1987 – 3	Elektricky poháněná silniční vozidla – Zvláštní požadavky na bezpečnost – Část 3: Ochrana uživatelů před elektrickými riziky
ČSN EN 13444 – 1	Elektricky poháněná silniční vozidla – Měření emisí hybridních vozidel – Část 1: Hybridní elektrická vozidla s tepelným motorem
ČSN EN 12736	Elektricky poháněná silniční vozidla – Vnitřní hluk vozidla při nabíjení vestavěným nabíječem – Stanovení hladiny akustického výkonu
ČSN EN 61851 – 1	Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 1: Všeobecné požadavky
ČSN EN 61851 – 21	Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 21: Požadavky na elektrická vozidla pro vodivé připojení k AC/DC napájení
ČSN EN 61851 – 22	Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 22: AC nabíjecí stanice elektrického vozidla [9]

3 Technické řešení hybridních pohonů

3.1 Hybridní pohon

Elektrický pohon automobilu při použití současných technologiích zatím ne zcela splňuje požadavky uživatele, a to především omezeným dojezdem tohoto automobilu. Činnost elektromotoru sice neprodukuje žádné místní, škodlivé emise, má výhodnou výkonovou charakteristiku, v širokém rozsahu otáček má vysokou účinnost a je velmi tichý. Nevýhodou tohoto pohonu je však menší jízdní výkon, již v úvodu zmiňovaný omezený dojezd a závislost na zdroji elektrické energie. Další nevýhoda tohoto pohonu je těžký a rozměrný zásobník energie, který negativně ovlivňuje zavazadlový prostor vozidla.

Spalovací motor může také pracovat s vysokou účinností, je však omezen jen na určitý rozsah pracovních otáček. Velikou výhodou spalovacího motoru je mnohonásobně vyšší energetická hustota paliva oproti akumulátoru. Nevýhodou však zůstává nemožnost plnit legislativní požadavky emisí v budoucnosti, v uzavřených aglomeracích už ani v současnosti.

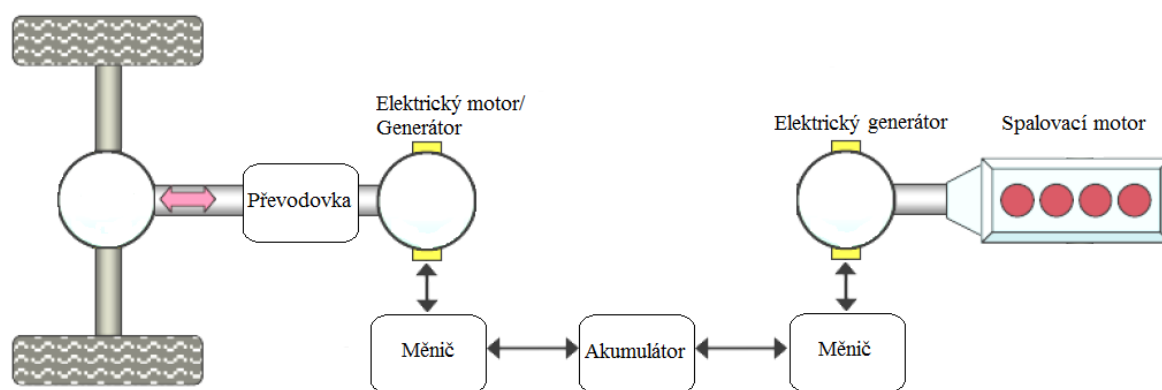
Možné řešení nabízí hybridní pohon automobilu, jedná se o pohon s více, než jedním poháněcím zdrojem a příslušnými zásobníky energie. Účelem toho řešení je kombinace dvou různých systémů pohonu tak, aby při různých provozních stavech byl využit ten, který je pro danou situaci výhodnější.

Městský provoz bez místních emisí umožňuje elektromotor a vhodné jízdní vlastnosti mimo město zase spalovací motor. Proto je kombinace elektromotor a spalovací motor nejvýhodnější. Elektromotor pracuje podle režimu jízdy buď jako elektromotor, v tomto případě dochází k přeměně elektrické energie na mechanickou, nebo jako generátor. Kdy je část mechanické energie přeměněna zpět na energii elektrickou a následně uchována v elektrických akumulátorech. Během jízdy je v případě potřeby spalovací motor s menším výkonem doplněn účinkem elektromotoru, čímž dojde ke zlepšení jízdních vlastností vozidla. Použitím hybridního pohonu se optimalizuje režim spalovacího motoru, tím dochází ke snížení spotřeby paliva a nižší produkci škodlivých emisí. Další výhodou tohoto pohonu je, že dochází k využití kinetické energie, kdy je část této energie pomocí generátoru přeměna v elektrickou energii, uskladněna v akumulátoru a dále využita například pro rozjezd vozidla. [1,2]

3.1.1 Sériové uspořádání

Uspořádání tohoto typu je zkonstruováno pro zlepšení jízdních vlastností elektrických vozidel. Touto úpravou, při které je do pohonné soustavy elektromobilu zařazen spalovací motor, je výrazně zvýšen akční rádius dojezdu vozidla. Sériové hybridní vozidlo je poháněno

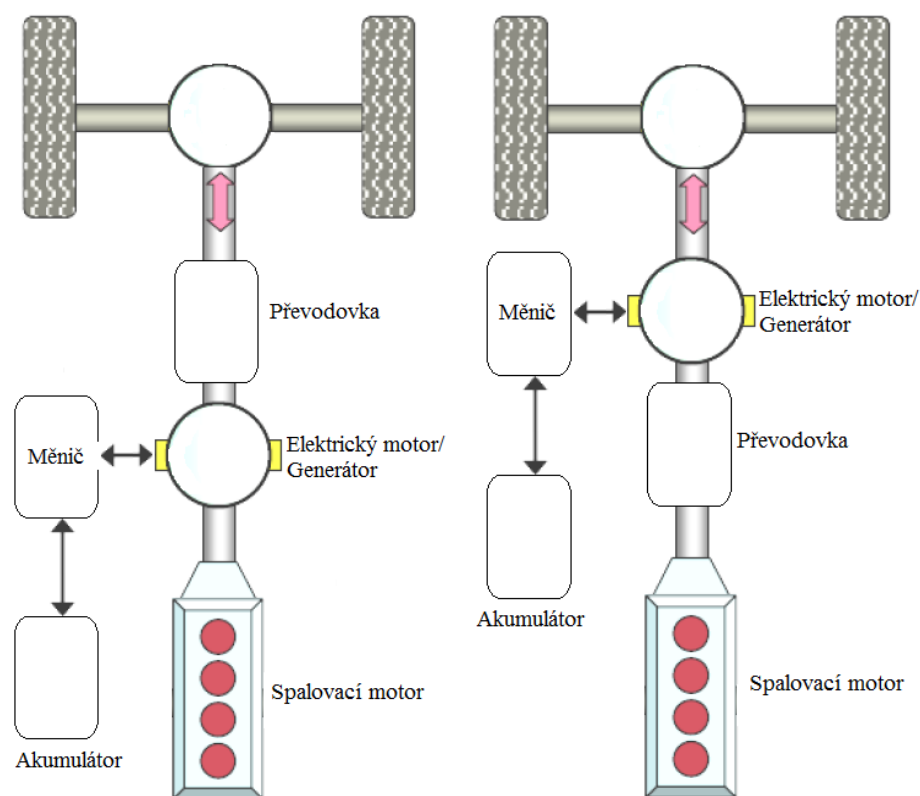
pouze elektromotorem. Spalovací motor pohání generátor, ten dodává elektrickou energii do trakčního elektromotoru a zároveň v případě potřeby dobíjí akumulátor. K pohonu vozidla je možno použít i více elektromotorů. Využití energie z akumulátoru se však liší, podle typu hybridního pohonu. U některých typů je spalovací motor neustále v činnosti a energie z akumulátorů slouží pouze jako doplňující zdroj, pro zlepšení dynamiky jízdy například při akceleraci. U plně hybridního vozidla obr. č. 3.1 jsou zdrojem energie pro pohon vozidla pouze akumulátory. V případě, že nejsou akumulátory schopny dodat potřebnou elektrickou energii, je automaticky nastartován spalovací motor, který je dobije. Spalovací motor tak může být provozován ve velmi úzkém rozsahu otáček a pracuje v optimálním režimu provozu. Výsledkem toho je maximální účinnost motoru při minimálním množství emisí z výfukových plynů. [1,2,11]



Obr. č. 3.1: Sériový hybridní pohon Zdroj: [Autor]

3.1.2 Paralelní uspořádání

Jedná se o uspořádání pohonného systému se spalovacím motorem, u kterého dochází k mechanickému přenosu výkonu přes převodovku na hnací kola, stejně jako u vozidel s klasickým pohonem. Tento pohon je však navíc doplněn elektromotorem, který je připojen na hnací hřídel buď mezi spalovacím motorem a převodovkou obr. č. 3.2, nebo na výstupní hřídel převodovky obr. č. 3.3. Výhoda tohoto pohonu spočívá ve vyšší účinnosti spalovacího motoru. Ten totiž zůstává mechanicky vázán na hnací nápravu. Tyto dva zdroje mohou pracovat nezávisle na sobě. To znamená, že paralelní řešení pohonu umožňuje samostatný provoz s elektrickým pohonem, nebo se spalovacím motorem. Současným zapnutím obou zdrojů energie je však možno zvýšit tažnou sílu i při nízkých otáčkách motorů. V kombinovaném provozu je spalovací motor neustále v činnosti a podle potřeby (předjíždění) se do činnosti zapojí i elektromotor. Touto variabilitou je možno dosáhnout výkonu velkoobjemového spalovacího motoru. [1,2]



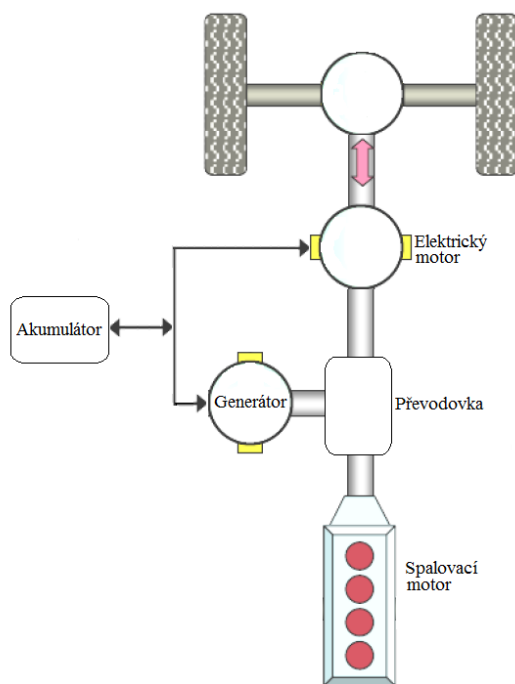
Obr. č. 3.2: Paralelní hybridní pohon Obr. č. 3.3: Paralelní hybridní pohon [Autor]

Oba tyto druhy hybridních pohonů prokazatelně snižují množství emisí výfukových plynů. Jednotlivé komponenty mohou být v silovém toku od spalovacího motoru ke hnacím kolům různě kombinovány. Elektromotory mohou být umístěny přímo v jednotlivých kolech a to i v řídicích. Porovnáním sériového a paralelního systému hybridních pohonů je pro projíždění úseků dráhy bez emisí výhodnější paralelní pohon. Sériový pohon se svým uspořádáním více blíží elektromobilu. [1]

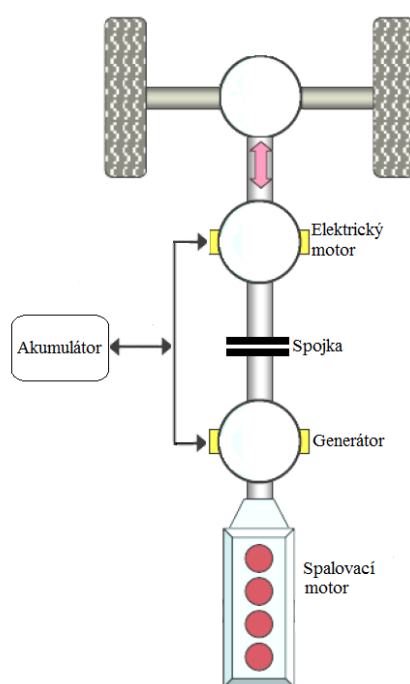
3.1.3 Kombinované pohony

Tyto pohony lze rozdělit na přepínatelné obr. č. 3.5, které pracují podle polohy spojky. Sériový hybridní pohon v případě, že je spojka rozpojená. Druhá možná varianta je v případě sepnutí spojky, v tomto případě se jedná o paralelní hybridní pohon.

Dále je možno rozdělit pohony s dělením výkonu obr. č. 3.4. Jako dělič výkonu je možno použít planetovou diferenciální převodovku. Tato převodovka dělí výkon spalovacího motoru na mechanickou část s vysokou účinností, která je přiváděna na hnací kola vozidla. Zbývající část výkonu je určena pro pohon generátoru. Tento generátor podle aktuálních provozních požadavků získanou elektrickou energií dobíjí akumulátor, nebo zásobuje trakční elektromotor, který je spojený s hnacími koly vozidla. [1,12]

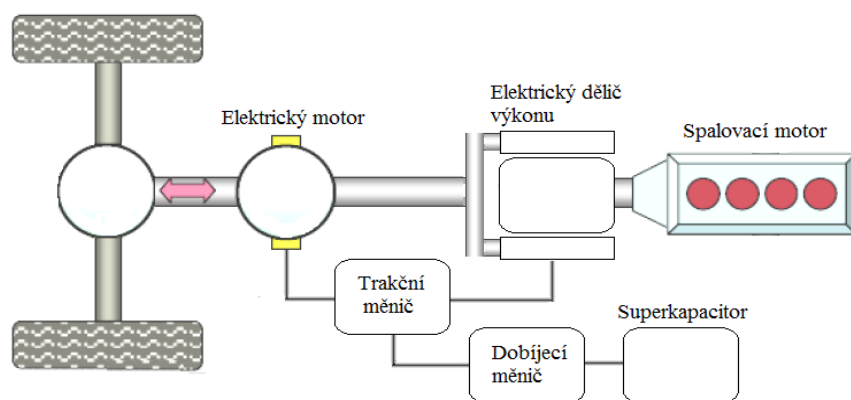


Obr. č. 3.4: Dělení výkonu



Obr. č. 3.5: Přepínatelný pohon Zdroj: [Autor]

Jako další možnost použití děliče výkonu lze použít elektrický stroj s rotujícím rotorem i statorem obr. č. 3.6. V případě, že se vozidlo rozjíždí, celkový výkon spalovacího motoru je v děliči výkonu přeměněn na elektrickou energii, kterou je roztáčen trakční elektromotor. Zrychlováním vozidla dochází ke zmenšování rozdílu otáček mezi statorem a rotorem, a tím ke snižování přenosu elektrické energie. V tom okamžiku však stoupá přenos mechanické energie. Systém s dělením výkonu je výhodný především v tom, že udržuje spalovací motor v optimálních provozních podmínkách a na rozdíl od sériového přenosu nedochází ke zvýšení ztrát při přenosu energie. Nevýhodou tohoto systému je příliš komplikovaná a tím finančně nákladná konstrukce vozidla. [1,12]



Obr. č. 3.6: Dělení výkonu elektrickým strojem Zdroj: [Autor]

Pro hodnocení systému motor zásobník jsou důležité tyto technické parametry. Jedná se především o energetickou hustotu [Wh/kg], která je základním kritériem a jedná se v podstatě o kapacitu zásobníku. Dále výkonová hustota [W/kg] tato hodnota slouží k posouzení dynamických vlastností vozidla. Dalšími hodnotami posuzující vlastnosti vozidla jsou například, velikost odebíraného a dodávaného výkonu. Trakční motor lze hodnotit podle maximálního točivého momentu, maximálních otáček. Důležitá je i doba přípravy vozidla k provozu. Vlastnosti vozidla rovněž závisí na momentové charakteristice.

Mimo uvedené hlavní požadavky je třeba dále věnovat pozornost hospodárnosti, to znamená nízké pořizovací ceně, nízké spotřebě paliva, nákladům na údržbu, vysokou životnost a v neposlední řadě i problematice zneškodňování a recyklování. Vlivu na okolí, nízkému množství výfukových emisí, tichému provozu, nízké spotřebě materiálu. Nezávislosti na klimatických podmínkách a na výškové poloze. Dobrým jízdním, akceleračním a deceleračním vlastnostem vozidla. [1,2]

3.2 Akumulátory energie

Jedná se o technické zařízení, ve kterém lze uchovávat energii a v případě potřeby ji z něho lze opět získat. U silničních vozidel jsou v současné době nejvíce rozšířeny zásobníky elektrické energie, jedná se o akumulátory, složené z elektrochemických článků, ve kterých dochází k přeměně energie pomocí elektrochemické reakce. Dále je možno použít mechanické akumulátory energie – setrvačníky. V poslední době, se díky rychlému rozvoji elektrotechnického průmyslu, začínají být používány i superkapacitory, které pracují na elektrostatickém principu přeměny energie. [1,2,11]

Na trakční akumulátory vozidel bývají následující požadavky

Musí umožňovat rychlé nabití, bezúdržbový provoz s životností 5 až 10 let. Dosahovat vysokých jízdních výkonů. Energetická hustota by měla dosahovat hodnot alespoň 200 W·h·kg⁻¹ a hustota výkonu přibližně 100 W·kg⁻¹. Cena za tuto baterii by neměla být vyšší než 150 Euro/kWh. [1]

3.2.1 Akumulace energie elektrochemickou reakcí

Elektrochemické akumulátory patří mezi nejstarší a nejvíce používané typy akumulátorů energie. Tyto akumulátory pracují na elektrochemickém principu. Při nabíjení a vybíjení akumulátoru dochází k vratným chemickým změnám. Tyto akumulátory se však poměrně dlouho nabíjejí a mají nízký měrný výkon. Navíc je nutné jejich články sériově zapojovat do

větších celků. V této práci jsem uvedl některé základní typy akumulátorů, používané v hybridních vozidlech a elektromobilech. [11]

Olověný akumulátor (Pb-PbO₂)

Jedná se o poměrně jednoduchý a rozšířený typ akumulátoru. Jmenovité napětí článku činí 2 V. Tento akumulátor je ve vozidlech použit jako zdroj energie pro nastartování spalovacího motoru, u elektromobilů je v něm uchována energie pro napájení trakčního motoru. Nízké náklady na výrobu, dlouhodobé zkušenosti, vysoká bezpečnost a spolehlivost jsou dobrými předpoklady pro další využívání těchto akumulátorů. Nevýhodami však zůstává, že se jedná o velmi těžký akumulátor, s malou schopností akumulovat energii. Při úplném i částečném vybití po delší dobu dochází k nevratnému poškození sulfatací, což má za následek snížení celkové kapacity akumulátoru. Tyto akumulátory mají při nízkých teplotách nízký výkon a dosahují jen krátké životnosti. Ta je u akumulátorů používaných k pohonu vozidla ještě asi dvakrát nižší, než u akumulátorů určených pro startování spalovacího motoru. Tento typ akumulátoru není vhodný vzhledem k veliké citlivosti na nabíjecí a vybíjecí proces jako zásobník elektrické energie pro hybridní vozidla. U těchto vozidel dochází k velice častému a neúplnému nabíjení a opětovnému vybíjení zdroje energie, což má za následek rychlé dosažení celkového počtu cyklů životnosti akumulátoru. Nové typy olověných akumulátorů využívají technologie spirálových článků obr. č. 3.7, tyto moderní akumulátory mají oproti klasickým bateriím až trojnásobnou životnost. Nosnou část tvoří desky z čistého olova, separátory z absorpčního skleněného mikroválkna do sebe absorbují elektrolyt, čímž se eliminuje možnost vylití. Díky schopnosti akumulátoru, chemicky přeměnit během nabíjení kyslík a vodík na vodu, se stává bezúdržbový. Elektrický proud, kterým lze akumulátor nabíjet může dosahovat až 100 A při 14,4 V, to umožňuje plné nabití během jedné hodiny. [1,2,11]



Obr. č. 3.7: Akumulátor se spirálovými články Zdroj: [24]

Akumulátory nikl-kadmium (Ni-Cd)

Jedná se o plně recyklovatelný a bezúdržbový akumulátor, který dosahuje oproti olověným akumulátorům vyšší životnosti a měrného výkonu. Akumulátor je sestaven z malých, plynotěsných, uzavřených článků. Kladnou elektrodu tvoří hydroxid oxidu niklu, zápornou elektrodu poniklovaná ocelová fólie opatřena vrstvou kadmia. Elektrolytem je roztok hydroxidu draselného. Tyto akumulátory je možné používat i pro nadměrné proudové zatížení, lze je poměrně rychle nabíjet. Jsou odolné proti přebíjení, hlubokému vybití i vůči velice nízkým teplotám až $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nevýhodou však zůstává samovolné vybíjení, které ale není při použití u hybridních pohonů tak podstatné. Dalším problémem je u tohoto typu akumulátoru takzvaný paměťový efekt, ke kterému dochází při nabíjení v případě, že nebyl akumulátor zcela vybit, následně dochází ke snižování kapacity zdroje energie. Příležitostným úplným vybitím a dobitím lze opět kapacitu zvýšit. Náklady, zahrnující následnou recyklaci velice toxického kadmia, se projeví ve vyšší pořizovací ceně za akumulátor. Při splnění doporučených podmínek skladování, lze tyto akumulátory skladovat i ve vybitém stavu po dobu několika let. [1,2,11]

Akumulátory nikl-metalhydrid (Ni-MH)

Nikl metalhydridové a nikl kadmiové akumulátory mají velice podobné vlastnosti. Aktivním materiálem kladné elektrody v nabitém stavu je stejně jako u Ni-Cd akumulátoru hydroxid oxidu niklu. Záporná elektroda je však vyrobena ze slitiny lanthanu, hliníku, kobaltu a manganu. Tato slitina vytváří metalhydrid, který není na rozdíl od kadmia toxický. Elektrolytem je hydroxid draselný, ten je absorbován v porézní hmotě elektrod a v separátoru, proto je tomuto zdroji elektrické energie umožněno pracovat v libovolné poloze. Ni-MH akumulátory dosahují vyšší měrné energie a jsou ekologické, proto je zde následná recyklace mnohem jednodušší. Vyšší pozornost je nutno věnovat procesu nabíjení a vybíjení, na které je tento akumulátor více citlivý. Po velkém počtu neúplných cyklů postupně dochází ke snižování kapacity a vytváření paměťového efektu. Vybíjecí charakteristika je poměrně příznivá, což znamená, že dochází jen k nízkému procesu samovybíjení. Při skladování je nutné dle pokynů výrobce akumulátory občas nabít, aby nedošlo vlivem chemické reakce k jejich znehodnocení. Životnost je proti Ni-Cd akumulátorům asi poloviční. Výraznou nevýhodou je vysoká pořizovací cena. Výrobci tyto akumulátory dále zlepšují, přičemž využívají znalostí, získaných při vývoji technicky vyspělejších Ni-Cd akumulátorů. [1,2,11]

Akumulátory Lithium-ion (Li-ion)

Tyto akumulátory jsou velmi spolehlivé, malé, lehké a výkonné zdroje elektrické energie. Vyrábějí se dva typy akumulátorů, lišící se odlišným provedením záporné elektrody. Materiálem této elektrody je uhlík, v jednom případě se jedná o koks a v druhém případě o grafít. Tato odlišnost se projeví nabíjecím napětím a tvarem vybíjecí křivky. Kladná elektroda je tvořena oxidem lithia a oxidem kobalttitolitného. Separátorem bývá většinou velice tenká porézní fólie z polypropylenu, nebo polyetylenu. Elektrolytem je vodivá sůl a rozpouštědlo. Jmenovité napětí článku je v rozmezí 3 až 4 V. Akumulátory mají nízké procento samovybití a životnost až 1 000 cyklů. Tyto akumulátory nesmí být nabíjeny a vybíjeny nadměrným elektrickým proudem. Dále nesmí být konečné nabíjecí napětí překročeno přes výrobcem udanou hodnotu. Proto je nutné, aby byl akumulátor doplněn řídicí elektronikou a ochrannou jednotkou, toto zařízení však celou zdrojovou soustavu velice prodraží. Přestože se jedná v současné době o nejmodernější akumulátory je nutné je po několika letech provozu v elektromobilech vyměnit za nové. Tyto akumulátory mají velice podobné provozní podmínky jako Ni-MH akumulátory. Také je nutné dodržovat doporučené intervaly mezi nabíjením v době, kdy nejsou v provozu, jinak by došlo k jejich nevratnému poškození. Doba kdy budou moci elektromobily cenově konkurovat automobilům se spalovacím motorem je závislá na rychlosti vývoje a odstranění současných problémů s akumulátory. [1,2,11]

3.2.2 Mechanický akumulátor energie

Jedná se o zásobník mechanické energie. V tomto případě dochází k transformaci kinetické energie translačního pohybu na pohyb rotační. Tento princip, který využívá dříve uvedené přeměny pohybu lze využít k akumulaci kinetické energie vozidla v případě brzdění. Naakumulovanou energii je možno dále využít při rozjezdu vozidla. Za setrvačnick je možno považovat kterékoliv rotující těleso. Nejdůležitějším parametrem setrvačnicku je jeho moment setrvačnosti I . Tato hodnota je závislá na rozložení hmotnosti kolem osy rotace setrvačnicku. energii rotujícího setrvačnicku lze vyjádřit pomocí vzorce:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad [\text{J}] \quad [15] \quad (3.1)$$

Kde:

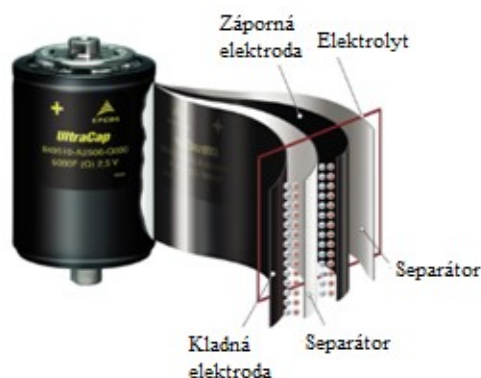
E_k [J]	kinetická energie
I [kg·m ²]	moment setrvačnosti
ω [rad/s]	úhlová rychlost

V případě, že je nutné snížit rychlost vozidla je setrvačnick připojen k hnací hřídeli například pomocí převodovky s plynule měnitelným převodem (CVT). Tím dochází k brzdění vozidla a zároveň k roztáčení setrvačnicku. Setrvačnick je možno tímto způsobem roztočit až na rychlost v řádu několika desítek tisíc otáček za minutu. Tato naakumulovaná energie je opět využita při rozjezdu vozidla. Nevýhodou tohoto zařízení je však poměrně rychlé samovybívání. Tuto nevýhodu je možno utěsněním a evakuováním skříně setrvačnicku a použitím magnetických ložisek bez otěru a tření snížit. Dále se také značně zvýší výkonová hustota setrvačnicku. Gyroskopický efekt setrvačnicku, vznikající u tohoto druhu pohonu, je možno eliminovat použitím dvou proti sobě se otáčejících setrvačnicků. Materiálem tvořící moderní setrvačnick bývají speciální kompozitní, vláknité materiály, které se oproti klasickým konstrukčním materiálům vyznačují příznivějšími vlastnostmi. V případě, že dojde při nehodě k přetržení vlákna. Je toto vlákno vlivem odstředivé síly tlačeno na stěnu skříně, kde dochází vlivem tření k vysokému nárůstu teploty. Spolu s vnější brzdou, určenou přímo ke zpomalení setrvačnicku, dochází k maření nahromaděné energie. Destrukci vzniká hmota podobná vatě, která již není nebezpečná pro okolí. [1,2,15]

3.2.3 Superkapacitor

Superkondenzátor (ultracapacitor, supercapacitor), obr. č. 3.8 je jediný druh akumulátoru, u kterého není nutné měnit elektrickou energii na jiný druh energie během uchování. Uchování energie je v kondenzátoru na principu elektrostatiky. Jedná se tedy o nejvýhodnější akumulátor energie, protože energie není při transformaci negativně ovlivněna (ztráty, vedlejší škodlivé vlivy). Tento kondenzátor je schopen za krátký časový úsek pojmout a následně odevzdat velké množství elektrické energie. Jedná se o zařízení, které je možno opakovaně nabíjet a vybíjet vysokými proudy, aniž by docházelo k jeho zahřívání a snižování životnosti. Další velikou výhodou je, že u něho nedochází k paměťovému efektu a je schopen pracovat i při nízké teplotě okolí. Výrobci udávají životnost superkapacitoru až jeden milion cyklů. Elektrické napětí superkapacitoru je v rozmezí 1,2 – 3 V podle typu elektrolytu. Elektrody jsou vyrobeny z uhlíku, u kterého je možno dosáhnout velkého povrchu až 2000 m² na 1g materiálu. Pro názornost, kondenzátor s kapacitou 600 F při napětí 2,3 V váží pouze 290 g. Tento kondenzátor je možno díky vhodným vlastnostem využít jako akumulátor elektrické energie pro hybridní vozidla. U tohoto vozidla je ho možno využít jako akumulátor rekuperované kinetické energie, kterou není nutné mařit v brzdové soustavě na teplo. Dále potom jako zdroj elektrické energie pro startování spalovacího motoru a pro napájení elektromotoru, díky němuž lze zlepšit dynamiku jízdy vozidla. Měrná energie

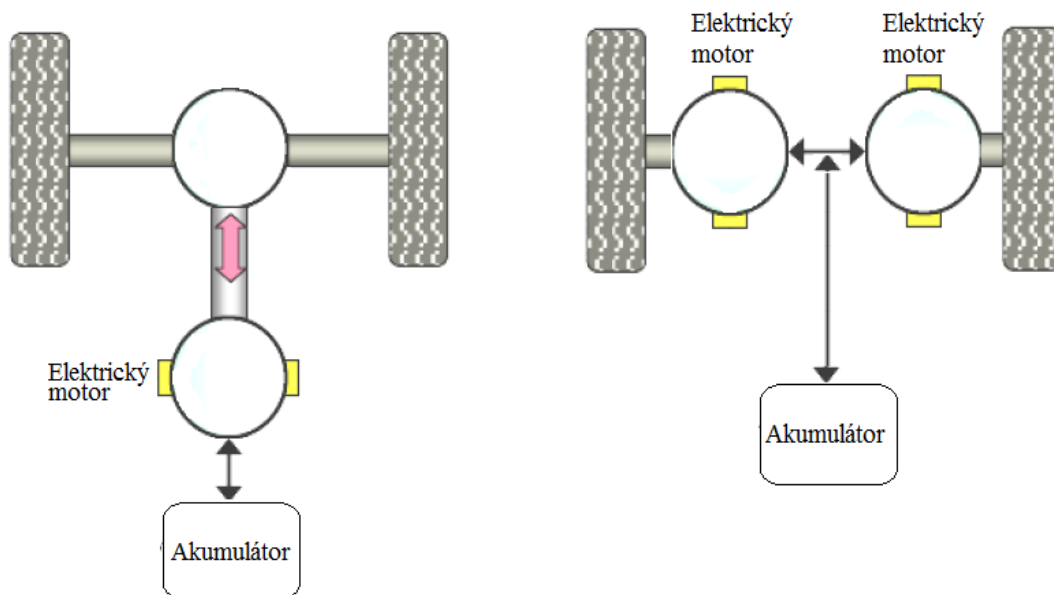
superkondenzátoru je v porovnání s akumulátory poměrně nízká, i tak se však jeví jako perspektivní akumulátor elektrické energie. [21]



Obr. č. 3.8: Superkapacitor Zdroj:[21]

3.3 Elektrické motory

Pro elektromobily a vozidla s hybridním pohonem je elektrický motor hlavním komponentem hnacího ústrojí. Hnací ústrojí je většinou dále tvořeno převodovkou, spojovacím hřídelem, rozvodovkou a hnacími hřídeli. Nejčastějším konstrukčním řešením elektromobilů je pohon s centrálním umístěním elektromotoru obr. č. 3.9, nebo elektromotory umístěnými přímo v nábojích kol obr. č. 3.10. [1,2]



Obr. č. 3.9: Centrální umístění motoru Obr. č. 3.10: Motory v nábojích kol Zdroj:[Aut.]

3.3.1 Stejnoseměrný motor se sériovým buzením

Tento elektromotor je zapojen tak, že budící vinutí a kotva motoru jsou zapojeny do série. Regulace výkonu je velice jednoduchá, probíhá změnou velikosti napětí pomocí tranzistorů.

Vysoký záběrový točivý moment však s nárůstem otáček rychle klesá. Po odlehčení dochází k rychlému zvýšení otáček, což může vést až k jeho poškození. [1,2]

3.3.2 Stejnoseměrný motor s paralelním buzením

Vinutí kotvy a budící vinutí jsou ke zdroji připojeny paralelně. Tento motor lze také snadno regulovat, ale oproti sériovému motoru v užším rozsahu otáček. Nemá tak veliký záběrový točivý moment, ale po odlehčení nedochází ke zvýšení otáček. Jedná se o elektromotor, který má tvrdou momentovou charakteristiku, proto točivý moment v závislosti na zvyšujících se otáčkách klesá pomaleji. [2]

3.3.3 Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením

V tomto elektromotoru jsou zapojena dvě vinutí, jedno je zapojeno sériově s obvodem kotvy a druhé paralelně. Kombinací tohoto zapojení dosahuje elektrický motor velkého točivého momentu a při odlehčení nedochází ke zvýšení pracovních otáček. [2]

3.3.4 Asynchronní třífázový elektrický motor

Tento elektrický motor stále více používaný pro pohon elektromobilů a hybridních vozidel je výhodný svojí konstrukcí, protože neobsahuje vinutí kotvy ani komutátor. Při napájení stejnosměrným napětím je nutné toto napětí cyklickým zapínáním tranzistoru upravit na střídavé napětí s pravoúhlým průběhem, který je dále upraven na přibližně sinusový průběh. Regulace se provádí elektronicky. Tento motor je téměř bezúdržbový, slině přetížitelný a na rozdíl od stejnosměrných motorů, je tento elektromotor jednodušší, pracovní otáčky dosahují až $20\,000\text{ min}^{-1}$. Při stejných parametrech je oproti stejnosměrným motorům výrazně menší a lehčí. K přeměně energie z mechanické na elektrickou při rekuperačním brzdění dochází s vysokou účinností. [1,2]

3.4 Převodovky

Převodovka je složena minimálně z hnacího a hnaného členu. Velký význam má převodovka u paralelního hybridního pohonu. V dnešní době se u většiny hybridních vozidel používají poloautomatické převodovky s přepínáním z elektrického pohonu na pohon spalovacím motorem pomocí spojky, nebo automatickým elektrickým přepínačem. Výhodou převodovky s plynulou změnou převodového poměru je, že spalovací motor neustále pracuje v úzkém rozsahu provozních otáček s vysokým výkonem a v optimálním rozsahu zatížení. [1]

3.5 Společnost SOR Libchavy spol. s r. o.

Společnost SOR Libchavy spol. s r. o. vznikla v roce 1991, podnikatelským záměrem této firmy bylo zabývat se vývojem, výrobou, prodejem a servisem malých autobusů. Jako první autobus byl vyroben autobus, který byl dlouhý 7,5 metru. U tohoto autobusu, firma použila karoserii a podvozek vlastní konstrukce. Hnací agregáty byly použity od renomovaných světových výrobců. Koncem roku 1993 byl dokončen první autobus s motorem Perkins a samočinnou převodovkou Voith. Postupně byly na trh uváděny i další, prodloužené verze autobusů.

Firma SOR Libchavy spol. s r.o. patří mezi významné české výrobce autobusů. Podle přání zákazníka lze vyrobit i nestandardní provedení těchto moderních autobusů. V současné době vyrábí autobusy v délce 8,5m, 9,5m, 10,5m, 12 m, 13,5m a 18m v provedení pro městský, meziměstský a dálkový provoz, které vyváží do více jak 11 evropských zemí. Autobusy jsou vybaveny motorem, který odpovídá požadavkům ekologických norem Evropské unie. Zákazník si může mimo klasického pohonu zvolit pohon na stlačený zemní plyn – CNG, elektrický pohon, hybridní pohon, nebo trolejbus. K dispozici je automatická i mechanická převodovka, retardér, kotoučové brzdy, klimatizace a další výbava.

Společnost však neustále investuje do svého rozvoje. Výsledkem toho je zprovoznění nové lakovny splňující nejprísnější ekologické parametry, svařovny a zákaznického centra s prodejem náhradních dílů, školicím a servisním střediskem. V roce 2010 byla společnost SOR Libchavy spol. s r.o. vyhodnocena na druhém místě v oblasti automobilového průmyslu a jako nejobdivovanější firma Pardubického kraje v rámci hodnocení 100 obdivovaných firem ČR. [5,22]

3.6 Elektrobus

Výrobcem elektrobusu SOR ENB 10,5 je firma SOR Libchavy spol. s r. o. a dodavatelem elektrického příslušenství firma Cegelec a.s. Jedná se o dvounápravový, nízkopodlažní autobus určený pro místně bezemisní přepravu osob ve městech, turistických oblastech, chráněných parcích nebo horských střediscích. Převážná kapacita činí 85 osob. Systém pohonu je tvořen kapalinou chlazeným třífázovým asynchronním motorem se jmenovitým výkonem 120 kW od firmy Pragoimex a.s. a trakčním měničem se stejným druhem chlazení, který je řízen IGBT tranzistory. Tento měnič slouží zároveň jako nabíječ akumulátorů. Trakční lithium – iontové akumulátory TUNDER – SKY se 180 články mají kapacitu 300 Ah. Dojezd elektrobusu je v městském provozu, s průměrnou obsaditelností 50 %, přibližně 130 km s průměrnou spotřebou mezi 0,85 – 0,9 kWh, na jeden kilometr. Životnost akumulátorů určena poklesem kapacity na 80 % původní hodnoty je stanovena na polovinu životnosti

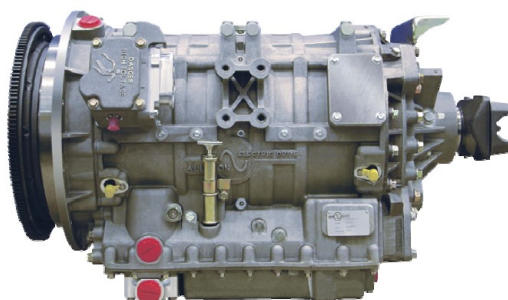
celého elektrobuse, což je asi 400 tisíc km. V režimu pomalého nabíjení z klasické zásuvky 3x400 V/32 A pomocí malého napájecího stojanu jsou akumulátory plně nabity za 7,5 hodin. Při rychlém nabíjení stojanem 3x400 V/250 A lze při maximálním proudu 250 A akumulátory nabít za půl hodiny na hodnotu, která stačí na ujetí přibližně 100 km. Elektrobuse je homologován na elektromagnetickou kompatibilitu dle EHK č. 10 a vyhovuje všem požadavkům platných předpisů. Vysokonapěťové komponenty trakčního okruhu jsou umístěny v zadní bezpečnostní zóně, odděleny od interiéru vozidla. V případě jakékoliv poruchy na vysokonapěťovém okruhu, nebo při dopravní nehodě je tento okruh několikanásobně jištěn, opatřen hlavním odpojovačem a dalšími jistícími prvky. Elektrobuse je vybaven kontrolním systémem, který případné poruchy zobrazí na displeji a zároveň je uloží do paměti závad. Také lithium – iontové akumulátory mají svůj kontrolní systém, který kontroluje stav nabití jednotlivých článků a řídí jejich nabíjení. Údržba vozidla je na rozdíl od pohonu se spalovacím motorem jednodušší, je však třeba věnovat větší pozornost údržbě a nabíjení trakčních akumulátorů, aby bylo dosaženo jejich maximálně možné životnosti. [5]

3.7 Autobus s hybridním pohonem

Článekový autobus SOR NBH18 je vybaven paralelním systémem pohonu GM – ALLISON EP. Tento pohon umožňuje plynulý a tichý rozjezd, bez vzniku škodlivých emisí výfukových plynů pomocí trakčních elektromotorů, které jsou napájeny Ni-MH akumulátory. Tyto elektromotory dosahují dostatečně velkého výkonu a točivého momentu, které jsou dále přenášeny jednotkou Ev drive na zadní hnací nápravu, který umožňuje rozjezd vozidla bez nutnosti spuštění spalovacího motoru. Při zvyšující se rychlosti je k pohonu elektromotorem spuštěn a postupně přes jednotku Ev drive připojen i spalovací motor, který tak může pracovat pouze v určitém rozsahu otáček s maximální účinností. Při vyšší plynulé rychlosti systém pracuje v režimu, kdy je k pohonu využit pouze spalovací motor. Výsledkem toho je, že na rozdíl od klasického pohonu pouze spalovacím motorem, může být u tohoto systému navržen motor s nižším výkonem a tím nižší spotřebou paliva. Tento spalovací motor pracuje v optimálních provozních podmínkách což má velice pozitivní vliv na nízkou spotřebu a vznik emisí výfukových plynů. Řídicí systém pohonu dále během provozu zajišťuje pomocí generátoru optimální napětí trakčních akumulátorů. Během zpomalení do hodnoty asi $0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je aktivována rekuperace kinetické energie. V tomto jízdním režimu jsou elektromotory ve funkci generátorů, které přeměňují energii mechanickou na elektrickou a následně s ní dobíjí akumulátory. Tato energie je pak opět použita například na rozjezd vozidla. U systému GM-ALLISON EP energie získaná rekuperací dostahuje asi ze 40 % na opětovný rozjezd vozidla. [5]

3.7.1 Ev drive

Jedná se o automatickou převodovku, která má mimo planetových soukolí, spojek, elektronických solenoidů a ventilů v sobě integrovány i dva motor generátory. Elektrické motory při rozjezdu mění elektrickou energii z akumulátorů na mechanickou energii a při rekuperačním brzdění zpět dobíjí Ni-MH akumulátory. Toto konstrukční řešení převodovky umožňuje plynulou změnu převodového poměru a tím plynulou jízdu vozidla. V převodovce je šest snímačů otáček, které slouží jako zdroje informací, o rychlosti a smyslu otáčení jednotlivých rotujících prvků, pro řídicí jednotku převodovky a výkonového měniče. Ev drive umožňuje podle režimu jízdy přenášet na hnací nápravu výkon nezávisle z elektromotorů, nebo spalovacího motoru anebo z obou agregátů současně. [14,20]



Obr. č. 3.11: Převodovka Ev drive Zdroj:[20]

3.7.2 Dvojité výkonový měnič (DPIM)

Výkonový měnič převádí elektrický proud z akumulátorů ze stejnosměrného průběhu na střídavý. Tímto elektrickým proudem jsou následně napájeny motor generátory umístěné v převodovce Ev drive. Změnou frekvence a amplitudy střídavého elektrického proudu, ke které dochází v měniči, dochází k regulaci otáček a točivého momentu elektromotoru. Při brzdění vozidla, je v generátor motorech mechanická energie přeměněna na energii elektrickou se střídavým průběhem, kterou je nutno před uchováním v akumulátorech pomocí měniče usměrnit. [14,20]



Obr. č. 3.12: Dvojité výkonový měnič Zdroj:[20]

3.7.3 Systém uchovávání energie (ESS)

Pro uchování elektrické energie jsou ve vozidle použity Ni-MH akumulátory. Tyto akumulátory jsou zdrojem elektrické energie pro dva trakční motorgenerátory a v průběhu rekuperace jsou tyto akumulátory motorgenerátory opět dobíjeny. [14,20]



Obr. č. 3.13: Systém uchovávání energie Zdroj:[20]

3.7.4 Volič stupňů

Volič stupňů hybridního vozidla se systémem Allison je totožný s voličem použitým u běžných automatických převodovek, které jsou elektronicky řízeny. Pro jízdu dopředu se volič přestaví do polohy s označením D a pro zpětný chod do polohy s označením R. [14,20]



Obr. č. 3.14: Volič stupňů Zdroj:[20]

4 Provozní hodnocení systémů u autobusu

Při zkoumání určitého objektu, není možné provádět velké množství zkoušek a to například z ekonomických důvodů. Proto je možné zjistit pouze odhad výsledku. Mezi ně patří například odhad střední vzdálenosti mezi poruchami. Tento získaný odhad, však může být od skutečné hodnoty odlišný jen nepatrně, nebo se může velmi lišit. [3]

Vzorce (4.1) – (4.16) [3]

Přibližná šířka třídy je určena ze vztahu

$$\Delta L = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} [\text{km}] \quad (4.1)$$

Kde:

ΔL [km]	šířka třídy
l_{\max} [km]	maximální hodnota
l_{\min} [km]	minimální hodnota
N [-]	rozsah výběru

Počet tříd je určen ze vztahu

$$i = \frac{l_{\max}}{\Delta L} [-] \quad (4.2)$$

Kde:

i [-]	počet tříd
l_{\max} [km]	maximální hodnota
ΔL [km]	šířka třídy

Relativní četnost

$$X_i = \frac{r_i}{N} [-] \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

Kde:

X_i [-]	relativní četnost
r_i [-]	je i -tá absolutní četnost
N [-]	rozsah výběru

Weibullovo rozdělení

Tento velice variabilní typ rozdělení je velmi často používán k zobrazení průběhu náhodné veličiny při posuzování bezporuchovosti technických objektů. Výhodou tohoto rozdělení je, že je jím možno nahradit některá další rozdělení, jako například exponenciální rozdělení ($m = 1$), Rayleighovo rozdělení kdy ($m = 2$), anebo normální rozdělení, u něhož je

parametr tvaru $m = 3,5$. Proto jsou numerické výpočty s tímto typem rozdělení velice výhodné, protože výpočty těchto rozdělení je možno provést jedním vtažením. Původní tříparametrické rozdělení odvozené profesorem Weibullem bylo položením parametru polohy $c = 0$ výrazně zjednodušeno. Toto zjednodušení je však pro běžné výpočty zcela postačující. Pro popis jednotlivých veličin spolehlivosti slouží u tohoto typu rozdělení následující vztahy. [3]

Hustota pravděpodobnosti

$$f(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]} [-] \quad (4.4)$$

Kde:

$f(l)$	[-]	hustota pravděpodobnosti	
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení	$m > 0$
l	[km]	vzdálenost	$l \geq 0$
l_0	[km]	parametr měřítka	$l_0 > 0$
e	[-]	základ přirozených logaritmů	

Pravděpodobnost poruchy

$$F(l) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]} [-] \quad (4.5)$$

Kde:

$F(l)$	[-]	pravděpodobnost poruchy	
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení	$m > 0$
l	[km]	vzdálenost	$l \geq 0$
l_0	[km]	parametr měřítka	$l_0 > 0$
e	[-]	základ přirozených logaritmů	

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

$$R(l) = e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]} [-] \quad (4.6)$$

Kde:

$R(l)$	[-]	pravděpodobnost bezporuchového provozu	
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení	$m > 0$
l	[km]	vzdálenost	$l \geq 0$
l_0	[km]	parametr měřítka	$l_0 > 0$
e	[-]	základ přirozených logaritmů	

Intenzita poruch

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} [-] \quad (4.7)$$

Kde:

$\lambda(l)$	$[-]$	hustota pravděpodobnosti	
m	$[-]$	parametr tvaru Weibullova rozdělení	$m > 0$
l	$[\text{km}]$	vzdálenost	$l \geq 0$
l_0	$[\text{km}]$	parametr měřítka	$l_0 > 0$

Střední hodnota

$$L_s = l_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) [\text{km}] \quad (4.8)$$

Kde:

L_s	$[\text{km}]$	střední hodnota	
l_0	$[\text{km}]$	parametr měřítka	$l_0 > 0$
Γ	$[-]$	gama funkce (tabelovaná)	
m	$[-]$	parametr tvaru Weibullova rozdělení	$m > 0$

Odhad parametrů Weibullova rozdělení

Distribuční funkce je vhodnými úpravami převedena na tvar k zavedení substituce rovnice přímky.

$$F(l) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]} [-] \quad (4.9)$$

$$1 - F(l) = e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]}$$

$$\ln(1 - F(l)) = -\left(\frac{l}{l_0}\right)^m$$

$$\ln[-\ln(1 - F(l))] = m \cdot \ln \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)$$

$$\ln\{-\ln[1 - F(l)]\} = m \cdot \ln l - m \cdot \ln l_0$$

Rovnice přímky

$$y = k \cdot x + q \quad (4.10)$$

Zavedena substituce

$$y = \ln(-\ln(1 - F(l))) \quad (4.11)$$

$$k \cdot x = m \cdot \ln l \quad (4.12)$$

$$q = -m \cdot \ln l_0 \quad (4.13)$$

Pořadová čísla vzdáleností mezi poruchami seřazena vzestupně jsou využita k odhadu mediánového pořadí. Nejlepší odhad hodnoty z pravé strany vztahu (4.11) je mediánové pořadí.

$$F_i(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4} [-] \quad (4.14)$$

Kde:

- $F_i(m)$ [-] mediánové pořadí
- n_i [-] je pořadové číslo
- n [-] je celkový počet poruch

Vztah pro určení osy x v grafu parametrů rovnice přímky

$$\ln(l_i) \quad (4.15)$$

Kde:

- l_i [km] vzdálenost mezi poruchami

Vztah pro výpočet parametru měřítka.

$$l_0 = e^{\left(-\frac{q}{m}\right)} [\text{km}] \quad (4.16)$$

Kde:

- l_0 [km] parametr měřítka $l_0 > 0$
- e [-] základ přirozených logaritmů
- m [-] parametr tvaru Weibullova rozdělení $m > 0$

4.1 Hodnocení střední vzdálenosti mezi poruchami

4.1.1 Autobus SOR BN 10,5

Získané údaje o poruchách autobusu SOR BN 10,5 (popis vozidla jsem uvedl do přílohy číslo 1) jsem uspořádal do tab. č. 4.1, která je uvedena v příloze číslo 2. Jednotlivé vzdálenosti poruch jsem vzestupně seřadil, zjistil ujeté vzdálenosti mezi jednotlivými poruchami a ty jsem opět seřadil od nejnižší hodnoty po nejvyšší. Z těchto dat jsem vypočítal šířku jedné třídy ΔL pomocí vzorce (4.1).

$$\Delta L = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} = \frac{7458 - 85}{1 + 3,3 \cdot \log 49} = 1120,92 \text{ km}$$

Tuto hodnotu jsem postupně navýšil, až na hodnotu 1800 km, abych splnil podmínky (pouze jeden vrchol, každý sloupec rozdílné hodnoty) zobrazení histogramu četností.

Dále jsem výpočtem podle vztahu (4.2) určil počet tříd i , které jsem zaokrouhlením upravil na hodnotu 5 tříd.

$$i = \frac{l_{max}}{\Delta L} = \frac{7458}{1800} = 4,14 \rightarrow 5 [-]$$

Pro zobrazení průběhu poruch, jsem použil histogram relativní četnosti X_i , kterou jsem vypočítal podle vzorce (4.3).

$$X_i = \frac{r_i}{N} = \frac{31}{49} = 0,63 [-] \quad i=1, 2, \dots, n$$

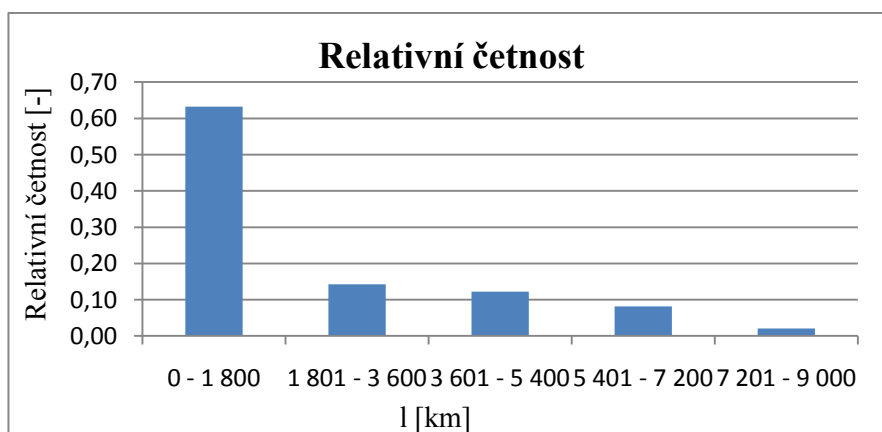
Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tab. č. 4.2.

Tab. č. 4.2: Rozdělení poruch SOR BN 10,5

Číslo třídy	Třída [km]	Absolutní četnost poruch[-]	Relativní četnost [-]
1	0 – 1 800	31	0,63
2	1 801 – 3 600	7	0,15
3	3 601 – 5 400	6	0,12
4	5 401 – 7 200	4	0,08
5	7 201 – 9 000	1	0,02
Celkem		49	1

Zdroj:[Autor]

Z hodnot relativní četnosti a šířky třídy v tab. č. 4.2, jsem pomocí tabulkového editoru sestrojil obr. č. 4.1.



Obr. č. 4.1: Relativní četnost SOR BN 10,5 Zdroj:[Autor]

Střední vzdálenost mezi poruchami jsem určil pomocí Weibullova rozdělení, protože se jedná, jak už jsem uváděl, o velice variabilní typ rozdělení. Nejprve jsem vypočítal potřebné hodnoty.

Hodnoty sloupce l_i v tab. č. 4.3 odpovídají jednotlivým, vzestupně seřazeným vzdálenostem mezi poruchami. V následujícím sloupci jsou uvedeny hodnoty mediánového pořadí $F_i(m)$ podle vztahu (4.14).

$$F_1(m) = \frac{n_1 - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{49 + 0,4} = 0,014 [-]$$

Svislou osu grafu y_i parametrů rovnice jsem vypočítal ze vzorce (4.11).

$$y_1 = \ln(-\ln(1 - F(m))) = \ln(-\ln(1 - 0,014)) = -4,249 [-]$$

Vodorovnou osu grafu $\ln(l_i)$ jsem určil ze vztahu (4.15).

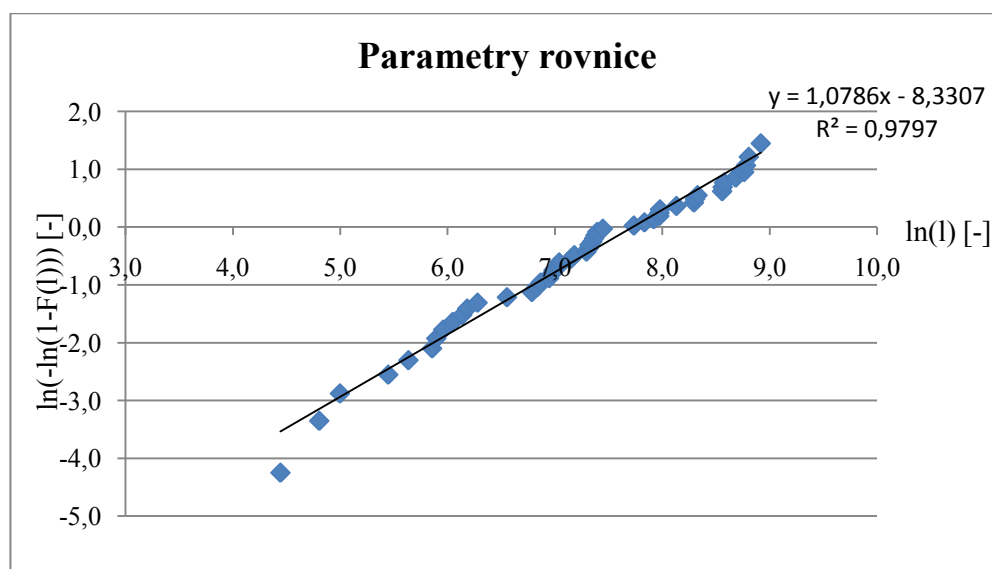
$$\ln(l_1) = \ln(85) = 4,443 [-]$$

Podle těchto vzorců jsem vytvořil celou tabulku, kterou jsem uvedl v příloze číslo 1e v elektronické podobě. V práci jsem uvedl jen část tab. č. 4.3. Tyto hodnoty slouží jako zdroj vstupních dat pro vytvoření grafu parametrů rovnic přímky, uvedeného v obr. č. 4.2. Vzniklými body grafu je proložena přímka metodou nejmenších čtverců. K odhadu rozdělení je využita získaná rovnice přímky.

Tab. č. 4.3: Hodnoty grafu parametrů rovnic SOR BN 10,5

$n_i [-]$	$l_i [\text{km}]$	$F_i(m) [-]$	$y_i [-]$	$\ln(x) [-]$
1	85	0,014	-4,249	4,443
2	122	0,034	-3,352	4,804
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
49	7458	0,986	1,448	8,917

Zdroj:[Autor]



Obr. č. 4.2: Parametry rovnice SOR BN 10,5 Zdroj:[Autor]

Z výrazu R^2 (koeficient determinace) na obr. č. 4.2 je zřejmé, že splňuje požadovanou podmínku, že musí být v rozsahu 0,9 až 1, v tomto případě $R^2 = 0,9797$.

Rovnici přímky vytvořeného grafu na obr. č. 4.2 jsem porovnal se vztahy (4.11) a (4.12). Směrnice přímky k , odpovídá výrazu m , což je parametr tvaru. V tomto případě se parametr tvaru rovná hodnotě $m = 1,078$ [-]

Parametr měřítka l_0 je nejprve nutné vyjádřit ze vztahu (4.13), výsledný tvar po matematické úpravě je uveden ve vzorci (4.16)

$$l_0 = e^{\left(-\frac{q}{m}\right)} = e^{\left(\frac{8,33}{1,078}\right)} = 2237,2 \text{ km}$$

Pro určení střední vzdálenosti mezi poruchami L_s u autobusu SOR BN 10,5 jsem u Weibullova rozdělení použil vztah (4.8).

$$L_s = l_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) = \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,078}\right) = 2172 \text{ km}$$

V tabulkovém editoru Microsoft Excel je Γ funkce počítána předdefinovanou funkcí GAMMALN.

Pro popis průběhu hustoty pravděpodobnosti $f(l)$, u tohoto typu rozdělení, jsem použil vzorec podle (4.4)

$$f(l) = \frac{m}{l_o} \cdot \left(\frac{l}{l_o}\right)^{m-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{l}{l_o}\right)^m\right]} = \frac{1,078}{2237,2} \cdot \left(\frac{0}{2237,2}\right)^{1,078-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{0}{2237,2}\right)^{1,078}\right]} = 0 \text{ [-]}$$

Pravděpodobnost vzniku poruchy $F(l)$ daného objektu jsem vypočítal pomocí vztahu (4.5)

$$F(l) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{l}{l_o}\right)^m\right]} = 1 - e^{\left[-\left(\frac{0}{2237,2}\right)^{1,078}\right]} = 0 \text{ [-]}$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(l)$ jsem určil výpočtem podle vztahu (4.6)

$$R(l) = e^{\left[-\left(\frac{l}{l_o}\right)^m\right]} = e^{\left[-\left(\frac{0}{2237,2}\right)^{1,078}\right]} = 1 \text{ [-]}$$

Výpočet $\lambda(l)$ jsem pro tento typ rozdělení vypočítal podle vzorce (4.7)

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_o} \cdot \left(\frac{l}{l_o}\right)^{m-1} = \frac{1,078}{2237,2} \cdot \left(\frac{0}{2237,2}\right)^{1,078-1} = 0 \text{ [-]}$$

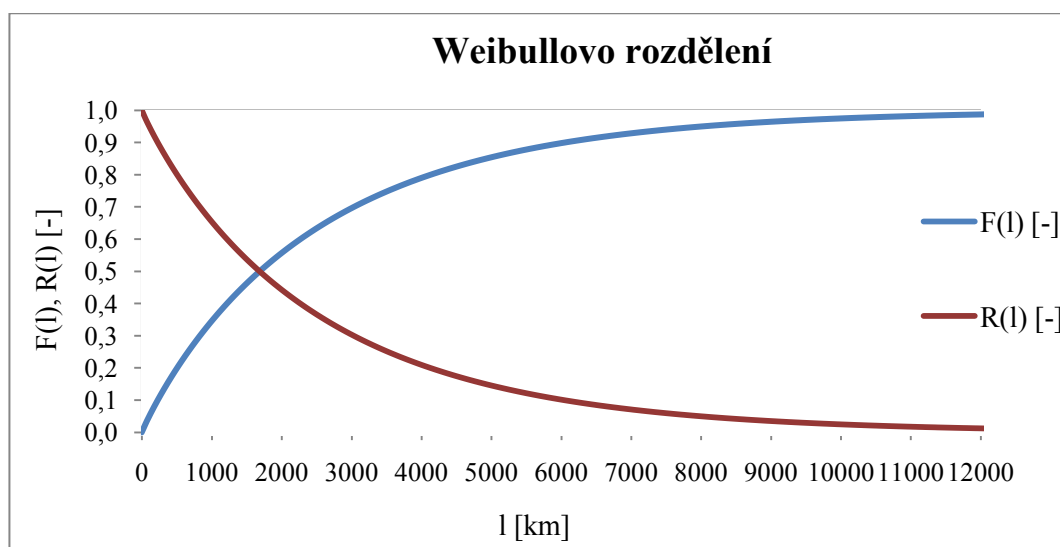
V prvním řádku části tab. č. 4.4 jsem uvedl výsledné hodnoty výpočtů podle výše uvedených vztahů, celou tabulku jsem uvedl v příloze číslo 2e v elektronické podobě. Dále jsem při sestavování tabulky postupoval tak, že jsem postupně navyšoval hodnotu li s krokem 50 kilometrů a k této hodnotě jsem dopočítal zbylé sloupce, podle již zmiňovaných vztahů. Konečná hodnota li v této tabulce nabývá hodnoty, při které se pravděpodobnost vzniku poruchy $F(l)$ rovná hodnotě jedna.

Tab. č. 4.4: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR BN 10,5

li [km]	$f(l)$ [-]	$F(l)$ [-]	$R(l)$ [-]	$\lambda(l)$ [-]
0	0	0	1,00000	0
50	0,00035	0,01635	0,98365	0,00036
100	0,00036	0,03426	0,96574	0,00038
:	:	:	:	:
22700	0	1,00000	0,00000	0,00058

Zdroj:[Autor]

Nakonec jsem z hodnot $F(l)$ a $R(l)$ v tab. č. 4.4 vytvořil pomocí tabulkového editoru graf Weibullova rozdělení, který je zobrazen na obr. č. 4.3.



Obr. č. 4.3: Weibullovo rozdělení SOR BN 10,5 Zdroj:[Autor]

4.1.2 Autobus SOR EBN 10,5

Hodnoty poruch tohoto autobusu jsem od Dopravního podniku Ostrava a.s., kde je autobus provozován, získal ve formě průměrného počtu ujetých kilometrů do vzniku poruchy za jeden měsíc. U každé poruchy byl evidován datum vzniku poruchy. Proto jsem musel nejprve z počtu ujetých kilometrů tohoto vozidla, za jednotlivé evidované měsíce, zjistit počet ujetých kilometrů za jednotlivé dny. Počet dní za měsíc se uvádí hodnotou 30,4 dní. Tuto takto určenou hodnotu počtu ujetých kilometrů za den daného měsíce jsem potom vynásobil hodnotou, které odpovídá datum vzniku poruchy na vozidle během měsíce. Výsledné hodnoty vzniklých poruch s názvem poruchy a počtem kilometrů při vzniku poruchy jsou uvedeny v tab. č. 4.5, v příloze číslo 3. Dále jsem v příloze číslo 4 uvedl informace o trakčním elektrickém motoru.

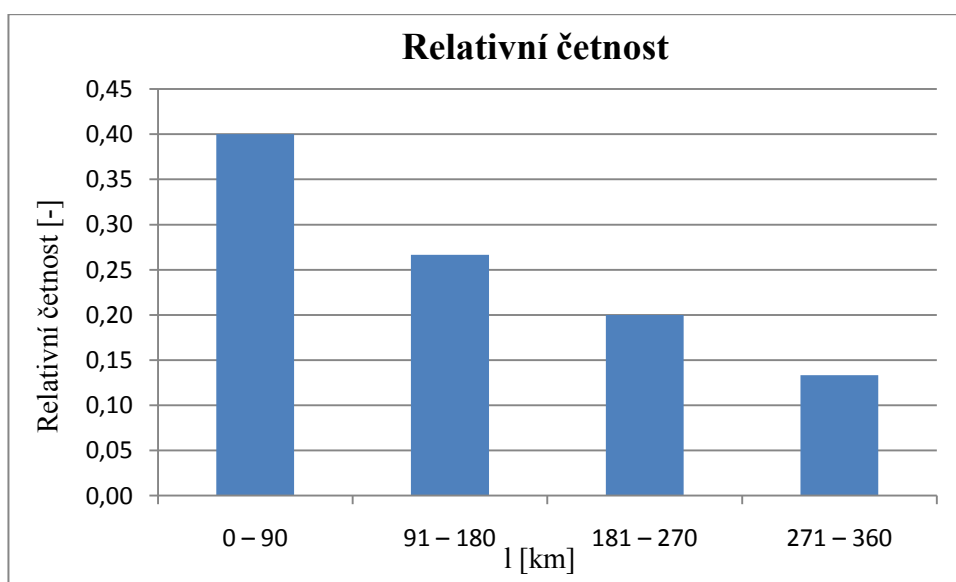
Z takto získaných hodnot jsem opět určil hodnoty vzdáleností mezi jednotlivými poruchami, které jsem seřadil od nejmenší hodnoty po nejvyšší. Dále jsem postupoval jako v předešlém postupu výpočtu, jehož cílem je určení střední vzdálenosti mezi poruchami. Po zjištění šířky třídy ΔL podle (4.1), jsem výsledek upravil (podmínky tvorby histogramu četností) na konečnou hodnotu 90 kilometrů. Hodnoty jsem v tomto případě rozdělil podle vztahu (4.2) na 4 třídy. Dále jsem pro každou hodnotu třídy vypočítal relativní četnost X_i pomocí vzorce (4.3). Hodnoty jsou zaznamenány v tab. č. 4.6.

Tab. č. 4.6: Rozdělení poruch SOR EBN 10,5

Číslo třídy	Třída [km]	Absolutní četnost [-]	Relativní četnost [-]
1	0 – 90	6	0,40
2	91 – 180	4	0,26
3	181 – 270	3	0,20
4	271 – 360	6	0,14
Celkem		15	1

Zdroj:[Autor]

Z hodnot relativní četnosti v tab. č. 4.6 jsem opět pomocí tabulkového editoru sestrojil graf, který je na obr. č. 4.4. Z toho je vidět rozdělení četností jednotlivých vzniklých poruch elektrobusu v závislosti na ujeté vzdálenosti l [km].

**Obr. č. 4.4: Relativní četnost SOR EBN 10,5 Zdroj:[Autor]**

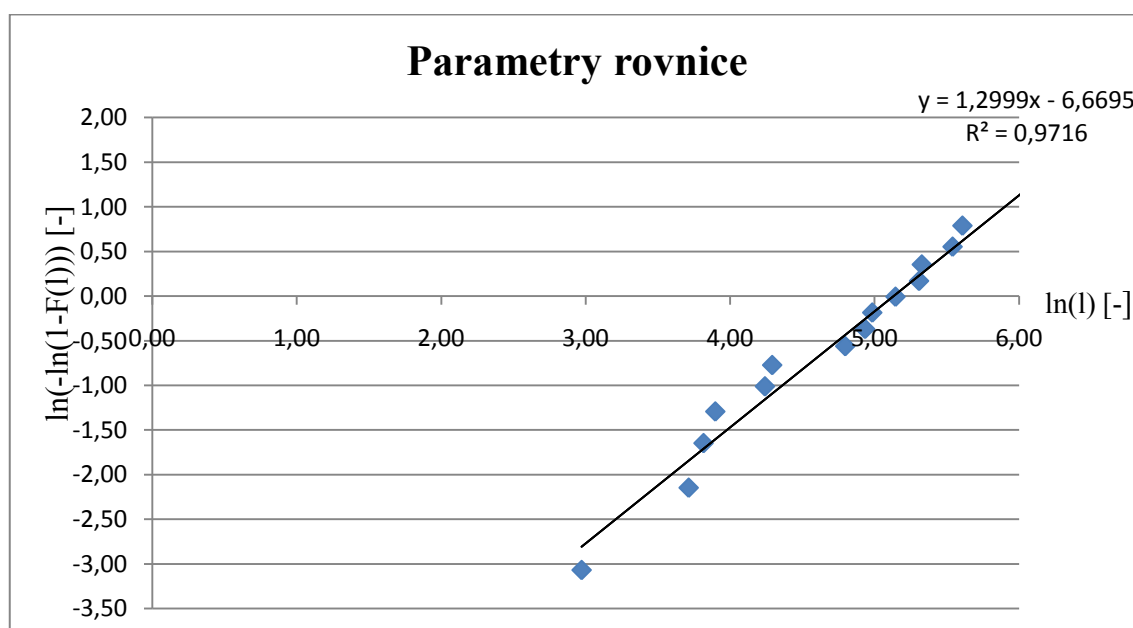
Pomocí vztahu číslo (4.14) jsem vypočítal mediánové pořadí $F(m)$. Hodnota mediánového pořadí pro první hodnotu v tab. č. 4.7, je 0,05. Dále jsem do této tabulky uvedl hodnoty y_i a $\ln(l_i)$ podle vztahů (4.11) a (4.15), potřebné pro sestrojení grafu parametrů rovnice přímky.

Tab. č. 4.7: Hodnoty grafu parametrů rovnic SOR EBN 10,5

li [km]	ni [-]	F(m)	yi [-]	ln(x)
19,5	1	0,05	-3,07	2,97
40,9	2	0,11	-2,15	3,71
45,4	3	0,18	-1,65	3,82
49,2	4	0,24	-1,29	3,90
69,4	5	0,31	-1,01	4,24
73,0	6	0,37	-0,77	4,29
121,1	7	0,44	-0,56	4,80
138,9	8	0,50	-0,37	4,93
146,0	9	0,56	-0,18	4,98
171,5	10	0,63	-0,01	5,14
201,8	11	0,69	0,17	5,31
205,7	12	0,76	0,35	5,33
254,6	13	0,82	0,55	5,54
272,6	14	0,89	0,79	5,61
493,7	15	0,95	1,13	6,20

Zdroj:[Autor]

Z tab. č. 4.7 jsem sestrojil graf na obr. č. 4.5. V tomto grafu je rovnice parametrů přímky, ze které je dále určena střední vzdálenost mezi poruchami elektrobuse.



Obr. č. 4.5: Parametry rovnice SOR EBN 10,5

Z obr. č. 4.5 je patrné, že R^2 (index determinace) splňuje podmínku $R^2 > 0,9$, v tomto případě $R^2 = 0,97$. Parametr tvaru m je roven hodnotě 1,3. Parametr měřítka l_0 jsem stejně jako v předchozím případě odvodil ze vztahu (4.13) na výsledný (4.16). Jeho hodnota činí přibližně 170 km. Poté jsem dosadil do vztahu (4.8) a získal tak střední vzdálenost mezi poruchami ΔL ,

tato hodnota je u tohoto autobusu 156 km. Tato výsledná vzdálenost je v porovnání s autobusem BN 10,5 velice krátká. Důvodem je, že se jedná o první vozidlo tohoto druhu, které je v provozu pouze krátkou dobu. To znamená, že zatím dochází k jeho neustálému doladování. Lze však předpokládat, že střední vzdálenost mezi poruchami bude postupně narůstat. Tato hodnota by mohla být i větší, než u vozidla BN 10,5, ze kterého je tento elektrobus původně vyvinut. Důvodem je například méně poruchová pohonná jednotka.

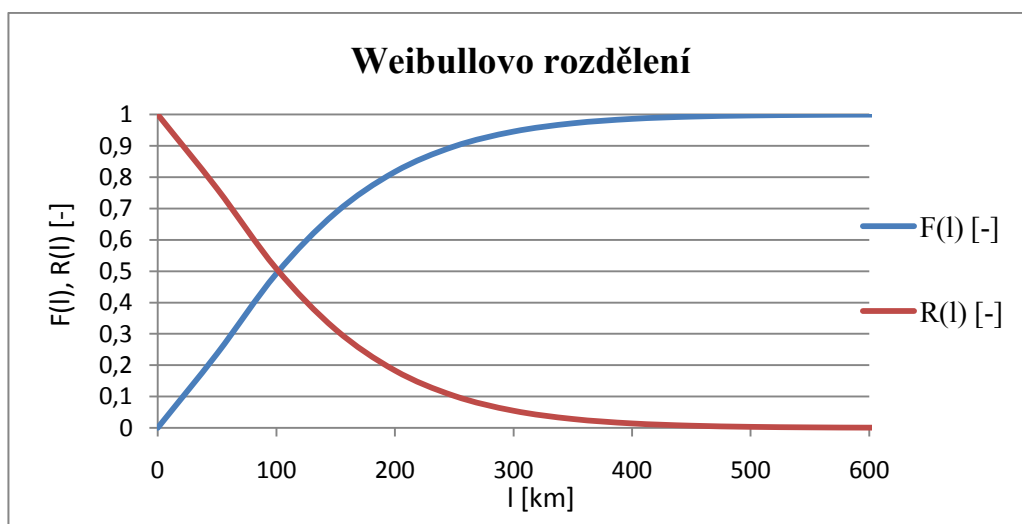
Následně jsem podle vztahů (4.4), (4.5), (4.6), a (4.7) vytvořil celou tabulku uvedenou v příloze číslo 3e, v práci jsem uvedl jen část této tab. č. 4.8.

Tab. č. 4.8: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR EBN 10,5

li [km]	f(l) [-]	F(l) [-]	R(l) [-]	λ(l) [-]
0	0	0	1	0
50	0,004345	0,185499	0,814501	0,005335
100	0,003963	0,396622	0,603378	0,006568
:	:	:	:	:
1300	9,87E-09	0,999999	6,96E-07	0,014177
1350	4,89E-09	1	3,41E-07	0,014339

Zdroj:[Autor]

Z hodnot pravděpodobnosti poruchy $F(l)$ a pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(l)$ jsem vytvořil graf na obr. č. 4.6.



Obr. č. 4.6: Weibullovo rozdělení SOR EBN 10,5 Zdroj:[Autor]

4.1.3 Autobus SOR NB 18

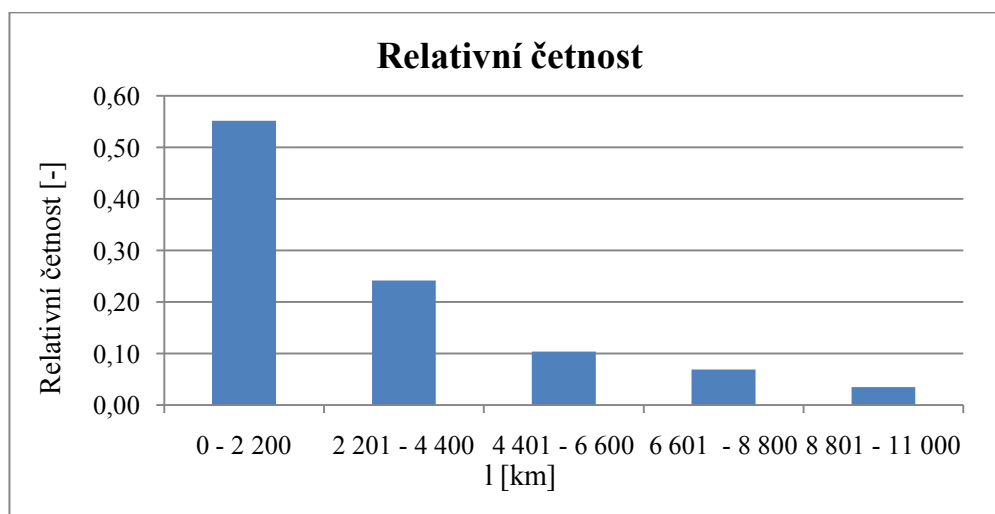
Poruchy kloubového autobusu SOR NB 18 jsem získal od výrobce tohoto vozidla. Do přílohy číslo 5 jsem uvedl popis vozidla. Tab. č. 4.9, ve které jsou uvedeny názvy poruch a počet ujetých kilometrů, kdy k poruchám došlo je uvedena v příloze číslo 6. Tyto získané ujeté kilometry jsem, jako v předešlých případech, nejprve vzestupně seřadil. Zjistil jednotlivé vzdálenosti mezi poruchami, kdy první hodnota odpovídá minimální uvedené hodnotě vzestupně seřazených dat ze základní tabulky. Podle vztahu (4.1) jsem spočítal, že šířka třídy ΔL je 1815 kilometrů. Tuto hodnotu jsem však musel navýšit na hodnotu 2200 kilometrů, aby mi vznikl histogram četností s různými hodnotami v jednotlivých sloupcích. Důvodem bylo splnění podmínek sestavování histogramu četností. V tab. č. 4.10, která je v tomto případě rozdělena dle výsledného vztahu (4.2) do 5 tříd, jsou uvedeny i relativní četnosti X_i dle vzorce (4.3).

Tab. č. 4.10: Rozdělení poruch SOR NB 18

Číslo třídy	Třída [km]	Absolutní četnost [-]	Relativní četnost [-]
1	0 – 2 200	16	0,55
2	2 201 – 4 400	7	0,25
3	4 401 – 6 600	3	0,10
4	6 601 – 8 800	2	0,07
5	8 801 – 11 000	1	0,03
Celkem		29	1

Zdroj:[Autor]

Průběh rozdělení je patrný v histogramu relativních četností na obr. č. 4.7.



Obr. č. 4.7: Relativní četnost SOR NB 18 Zdroj:[Autor]

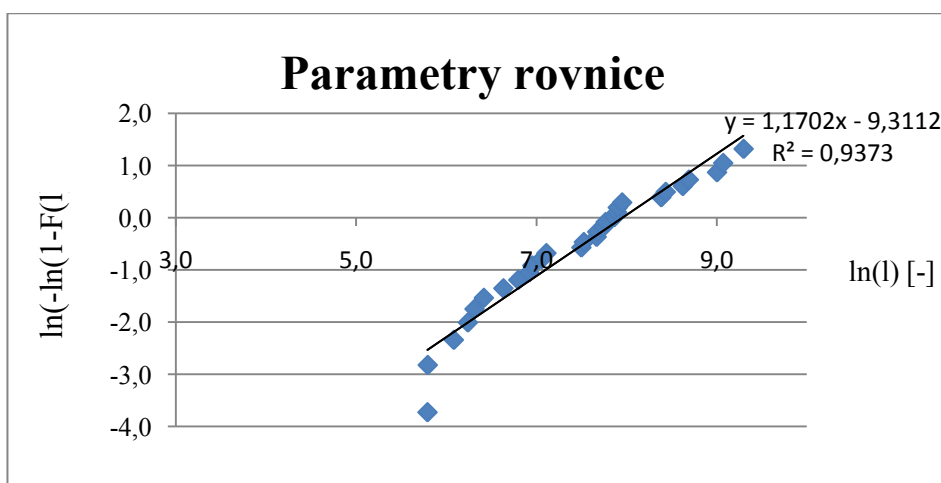
Opět jsem i v tomto případě k popisu veličin použil Weibullovo rozdělení. Proto jsem postupoval jako ve dvou předchozích případech. Nejprve jsem tedy podle vzorce, uvedeném ve vztahu (4.14) vypočítal mediánové pořadí s výsledkem $F_I(m) = 0,024$ pro první hodnotu tabulky. V práci jsem uvedl jen část tab. č. 4.11, celá tabulka je uvedena v příloze číslo 4e v elektronické podobě. Dále jsem podle (4.11) a (4.15) uvedl hodnoty souřadnic grafu parametrů rovnice přímky, které jsou opět uvedeny v této tabulce.

Tab. č. 4.11: Hodnoty grafu parametrů rovnic SOR NB 18

li [km]	ni [-]	Fi(m) [-]	yi [-]	ln(li) [-]
327	1	0,024	-3,726	5,790
328	2	0,058	-2,821	5,793
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8692	28	0,942	1,047	9,070
10905	29	0,976	1,318	9,297

Zdroj:[Autor]

Zobrazení výsledných hodnot v grafu, těmito hodnotami je proložena přímka metodou nejmenších čtverců.



Obr. č. 4.8: Parametry rovnice SOR NB 18 Zdroj:[Autor]

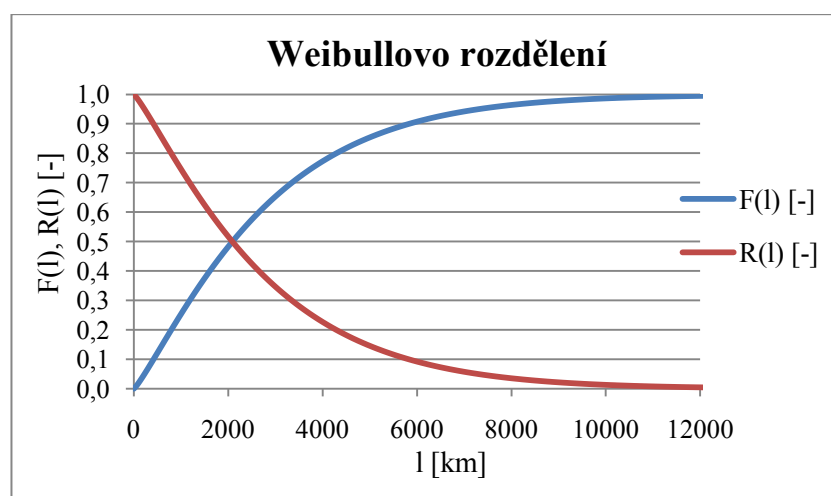
Index determinace R^2 je roven hodnotě 0,937, podmínka ($R^2 > 0,9$) je splněna. Parametr tvaru m je v tomto případě 1,1702. Parametr měřítka l_0 mi výpočtem podle (4.16) vyšel na hodnotu 2855 kilometrů. Střední hodnotu mezi poruchami L_s jsem spočítal dle (4.16) a tato hodnota činí 2704 km, což je z hodnocených autobusů nejvyšší hodnota. Dále jsem uvedl část tab. č. 4.12, ve které jsem podle výše, již zmiňovaných vztahů vypočítal pomocí tabulkového editoru hodnoty hustoty pravděpodobnosti $f(l)$, pravděpodobnost poruchy vozidla $F(l)$, pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(l)$ a intenzitu poruch $\lambda(l)$. Celá tabulka je uvedena v příloze číslo 5e v elektronické podobě.

Tab. č. 4.12: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR NB 18

l_i [km]	$f(l)$ [-]	$F(l)$ [-]	$R(l)$ [-]	$\lambda(l)$ [-]
0	0	0	1	0
50	0,000204	0,008758	0,991242	0,000206
100	0,000227	0,019602	0,980398	0,000232
:	:	:	:	:
28050	3,07E-10	0,999999	5,07722E-07	0,000605
28100	2,979E-10	1	4,926E-07	0,000605

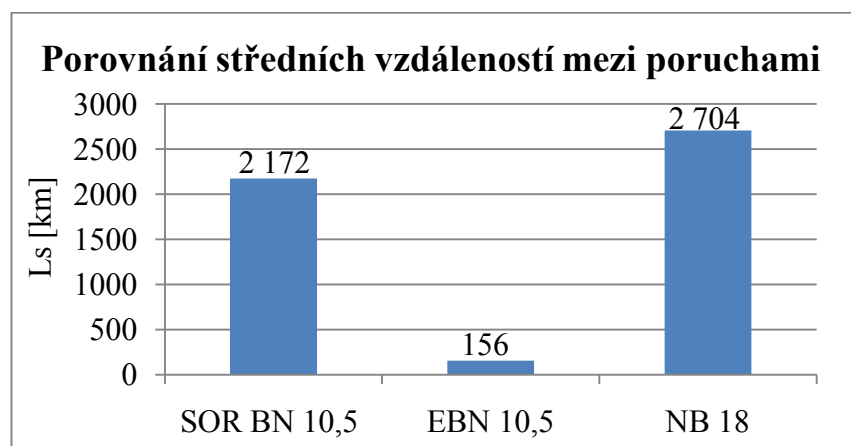
Zdroj:[Autor]

Z hodnot v tab. č. 4.12, jsem pomocí tabulkového editoru sestrojil graf pravděpodobnost poruchy vozidla $F(l)$, pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(l)$ na obr. č. 4.9.



Obr. č. 4.9: Weibullovo rozdělení SOR NB 18 Zdroj:[Autor]

V grafu na obr. č. 4.10 jsem uvedl porovnání středních vzdáleností mezi poruchami autobusů, které jsem v této práci počítal.



Obr. č. 4.10: Porovnání středních vzdáleností mezi poruchami Zdroj:[Autor]

U autobusu s hybridním pohonem SOR NBH 18 jsem v této práci střední dobu mezi poruchami nepočítal. Autobusy jsou provozovány v Dopravním podniku hl. m. Prahy, akciové společnosti od ledna 2011. Počet najetých kilometrů byl u vozidla 6402 ke dni 24. 3. 2011 8 458 kilometrů a u vozidla 6401 ke stejnému dni 12 380 kilometrů. Jedná se však o zkušební provoz vozidel, kdy dochází k doladování a programování na daný jízdní charakter trati. Proto není seznam závad k dispozici. Hodnoty průměrné spotřeby paliva u těchto dvou autobusů, které jsem získal od výrobce, jsou proto také jen přibližné, protože stále dochází, jak už jsem uvedl k doladování vozidel.

4.2 Hodnocení spotřeby paliva, AdBlue a produkce emisí

Vozidla se spalovacím vznětovým motorem plní Evropské normy Euro 4 a 5. Proto jsou vybaveny systémem vstřikování kapalného aditiva do výfukové soustavy s obchodním názvem AdBlue. Dávkování AdBlue je plně automaticky řízeno podle pokynů řídící jednotky v závislosti na úrovni redukce oxidu dusíku výfukových plynů. Spotřeba tohoto aditiva je asi 3 až 7 % spotřebovaného paliva, dle stupně Euro normy. Produkce emisí CO₂ je při použití AdBlue asi o 5 % nižší, v porovnání s vozidlem bez AdBlue. Popis AdBlue jsem podrobněji uvedl v příloze číslo 7 a popis jednotného měření spotřeby autobusů v příloze číslo 8. Hodnoty spotřeb motorové nafty u autobusů popisované v této práci, však podle tohoto postupu zjištěny nebyly. [17,18]

Výpočet spotřeby AdBlue na 100 kilometrů

$$S_{AB} = \frac{S_{AB100}}{100} \cdot S_p \text{ [l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}] \quad [\text{Autor}] \text{ (4.17)}$$

Kde:

S_{AB}	[l · 100 km ⁻¹]	spotřeba AdBlue na 100 km
S_{AB100}	[-]	spotřeba AdBlue na 100 litrů paliva
S_p	[l · 100 km ⁻¹]	spotřeba paliva

Celkové náklady za motorovou naftu a přísadu do výfukové soustavy na 1 kilometr

$$N_{C1} = (N_{MN} \cdot S_p) + (N_{AB1} \cdot S_{AB1}) \text{ [Kč} \cdot \text{km}^{-1}] \quad [\text{Autor}] \text{ (4.18)}$$

Kde:

N_{C1}	[Kč · km ⁻¹]	náklady za palivo a přísadu do výfukové soustavy na 1 km
N_{MN}	[Kč · l ⁻¹]	cena 1 litru paliva
S_p	[l · km ⁻¹]	spotřeba paliva
N_{AB1}	[Kč · l ⁻¹]	cena za 1 litr přísady AdBlue
S_{AB1}	[l · km ⁻¹]	spotřeba AdBlue na 1 km

Celkové náklady za motorovou naftu a přísadu do výfukové soustavy na 1 cestujícího
(v sedle, obsazení vozidla je 75 % celkové kapacity) podle [4]

$$N_{C10} = \frac{N_{C1}}{n_{osob}} [\text{Kč} \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}] \quad [\text{Autor}] (4.19)$$

Kde:

N_{C10}	$[\text{Kč} \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}]$	náklady za palivo, AdBlue na 1 km, na 1 osobu
N_{C1}	$[\text{Kč} \cdot \text{km}^{-1}]$	náklady za palivo a přísadu do výfuk. soustavy na 1 km
n_{osob}	[osoba]	počet osob v době sedla pro dané vozidlo

Množství emisí CO₂ (Popis výpočtu emisí jsem uvedl v příloze číslo 9).

$$e_{CO_2} = \left(\frac{10084}{3,7584} \cdot \frac{S_P}{100} \right) \cdot 0,95 [\text{g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1}] \quad [19] (4.20)$$

Kde:

e_{CO_2}	$[\text{g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1}]$	emise CO ₂ při spalování motorové nafty na 1 km
10 084	$[\text{g} \cdot \text{galon}^{-1}]$	emise CO ₂ z 1 galonu motorové nafty
3,7584	[-]	přepočten z 1 galonu na 1 litr
S_P	$[1 \cdot 100 \text{ km}^{-1}]$	spotřeba paliva

Množství emisí CO₂ · (osoba · km)⁻¹

$$e_{CO_2 \text{ 1 km os}} = \frac{e_{CO_2}}{n_{osob}} [\text{g CO}_2 \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}] \quad [\text{Autor}] (4.21)$$

Kde:

$e_{CO_2 \text{ 1 km os}}$	$[\text{g CO}_2 \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}]$	emise CO ₂ na 1 km, na 1 osobu
e_{CO_2}	$[\text{g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1}]$	množství emisí CO ₂ při spalování motorové nafty na 1 km
n_{osob}	[osoba]	počet osob v době sedla pro dané vozidlo (obsazenost 75 % celkové kapacity), podle [4]

Spotřebu paliva jednotlivých uváděných autobusů jsem získal od výrobce.

Cena za jeden litr paliva je 27,42 Kč bez DPH, cena za 1 litr AdBlue je přibližně 8,50 Kč.

4.2.1 Autobus SOR BN 10,5

Výpočet spotřeby AdBlue na 100 kilometrů S_{AB} jsem spočítal podle vzorce (4.17), hodnotu spotřeby této přísady na jeden kilometr je pouze výsledek podle (4.17), vydělen 100 kilometry.

$$S_{AB} = \frac{S_{AB100}}{100} \cdot S_p = \frac{5}{100} \cdot 31,64 = 1,582 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$$

Celkové náklady za motorovou naftu a přísadu do výfukové soustavy na 1 kilometr N_{CI} jsou vypočítány podle vzorce (4.18).

$$N_{CI} = (N_{MN} \cdot S_p) + (N_{AB1} \cdot S_{AB1}) = (27,42 \cdot 0,316) + (8,50 \cdot 0,016) = 8,81 \text{ Kč} \cdot \text{km}^{-1}$$

Celkové náklady za motorovou naftu a přísadu do výfukové soustavy na 1 cestujícího N_{CIo} jsem vypočítal podle vzorce (4.19).

$$N_{CIo} = \frac{N_{CI}}{n_{osob}} = \frac{8,81}{68} = 0,13 \text{ Kč} \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}$$

Hodnoty jsou uvedeny v části tab. č. 4.13. Celou tabulku jsem uvedl do přílohy číslo 6e v elektronické podobě.

Tab. č. 4.13: Hodnoty spotřeb a nákladů SOR BN 10,5

Číslo	Spotřeba motorové nafty		Spotřeba AdBlue (5l/100 l nafty)		Finanční náklady (palivo, Adblue)	
	[l/100 km]	[l/1 km]	[l/100 km]	[l/1 km]	[Kč/1 km]	[Kč · (osoba · km) ⁻¹] (68 míst obsaz.)
1	31,640	0,316	1,582	0,016	8,81	0,13
2	27,700	0,277	1,385	0,014	7,71	0,11
:	:	:	:	:	:	:
30	31,360	0,314	1,568	0,016	8,73	0,13
31	24,690	0,247	1,235	0,012	6,87	0,10

Zdroj:[Autor]

Průměrná spotřeba paliva mi vyšla $28,3 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$, a průměrná cena za palivo a AdBleu na 1 km a jednu osobu $0,12 \text{ Kč} \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}$, v době sedla, kdy je autobus obsazen ze 75 %. Množství emisí CO_2 na jeden kilometr jízdy jsem u tohoto typu autobusu vypočítal podle vztahu (4.20).

$$eCO_2 = \left(\frac{10084}{3,7584} \cdot \frac{S_p}{100} \right) \cdot 0,95 = \left(\frac{10084}{3,7584} \cdot \frac{31,64}{100} \right) \cdot 0,95 = 806,47 \text{ g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1}$$

Množství emisí, vyprodukovaných tímto autobusem, na ujetí jednoho kilometru přepočítané na osobu jedoucí ve vozidle, za předpokladu jízdy mimo špičku a zaplnění autobusu ze 75 % jeho celkové přepravní kapacity, jsem vypočítal podle vztahu (4.21).

$$eCO_{2\ 1\ km\ os} = \frac{eCO_2}{n_{osob}} = \frac{806,47}{68} = 11,86\ g\ CO_2 \cdot (osoba \cdot km)^{-1}$$

Hodnoty emisí jsem opět uvedl do části tab. č. 4.14. Celou tabulku jsem uvedl do přílohy číslo 7e v elektronické podobě.

Tab. č. 4.14: Hodnoty produkce emisí SOR BN 10,5

Číslo	Spotřeba motorové nafty		Produkce emisí CO ₂ katalyzátor, AdBlue	
	[l/100 km]	[l/1 km]	[g CO ₂ /1 km]	[g CO ₂ · (osoba·km) ⁻¹] (68 míst obsaz.)
1	31,64	0,316	806,473	11,860
2	27,7	0,277	706,046	10,383
:	:	:	:	:
30	31,360	0,314	799,336	11,76
31	24,690	0,247	629,324	9,26

Zdroj:[Autor]

4.2.2 Autobus SOR NB 18

U autobusu SOR NB 18 jsem při výpočtech spotřeb paliva, spotřeb aditiva, nákladech za palivo a AdBlue na jeden kilometr, a vyprodukovaného množství emisí na jeden kilometr postupoval podle stejných vztahů jako v předchozím případě. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v části tab. č. 4.15 a č. 4.16. Celé tabulky jsem uvedl do přílohy číslo 8e a 9e v elektronické podobě.

Tab. č. 4.15: Hodnoty spotřeb a nákladů SOR BN 18

Číslo	Spotřeba motorové nafty		Spotřeba AdBlue (5,5 l/100 l nafty)		Finanční náklady (palivo, AdBlue)	
	[l/100 km]	[l/1 km]	[l/100 km]	[l/1 km]	[Kč/1 km]	[Kč · (osoba·km) ⁻¹] (120 míst obsaz.)
1	53,03	0,530	2,917	0,029	14,79	0,12
2	54,26	0,543	2,984	0,030	15,13	0,13
:	:	:	:	:	:	:
29	54,98	0,550	3,024	0,030	15,33	0,13
30	55,35	0,554	3,044	0,030	15,44	0,13

Zdroj:[Autor]

Tab. č. 4.16: Hodnoty produkce emisí SOR NB 18

Číslo	Spotřeba motorové nafty		Produkce emisí CO ₂ katalyzátor, AdBlue	
	[l/100 km]	[l/1 km]	[g CO ₂ /1 km]	[g CO ₂ · (osoba·km) ⁻¹] (120 míst obsaz.)
1	53,03	0,530	1351,674	11,264
2	54,26	0,543	1383,058	11,525
:	:	:	:	:
29	54,98	0,550	1401,500	11,679
30	55,35	0,554	1410,888	11,575

Zdroj:[Autor]

Počet ujetých kilometrů u autobusů s hybridním pohonem SOR NBH 18 zatím není dostatečný pro objektivní hodnocení spotřeby paliva, protože autobusy zatím jezdí pouze od ledna 2011. Navíc dochází k neustálému doladování a programování hybridního systému pro náročný, pražský provoz. Proto jsou hodnoty, které jsem získal od výrobce, pouze orientační. Autobus s hybridním pohonem má provozní hmotnost o 2000 kg vyšší, než autobus NB 18 i tak, je již během doladování znatelná úspora paliva asi 16 % oproti NB 18. Průměrná spotřeba těchto dvou vozidel a průměrná spotřeba vozidel NB 18 je v tab. č. 4.17, která je doplněna i vzniklou úsporou paliva.

Tab. č. 4.17: Porovnání spotřeby paliva

NBH 18	
1. vozidlo [l/100 km]	47,54
2. vozidlo [l/100 km]	43,74
Průměrná hodnota [l/100 km]	45,64
Průměrná hodnota NB 18 [l/100 km]	54,27
Úspora [l/100 km]	8,63
Procentuální vyjádření [%]	16%

Zdroj:[Autor]

Také u tohoto autobusu jsem vypočítal spotřebu AdBlue S_{AB} dle (4.17), náklady na palivo a AdBlue N_{CI} podle vztahu (4.18), náklady na palivo a AdBlue rozpočítané na jednu osobu N_{C1o} podle vztahu (4.19) a množství vyprodukovaných emisí CO₂ podle (4.20) a (4.21). Zajímavým výsledkem je množství emisí CO₂ vzniklé po ujetí jednoho kilometru jízdy a přepočtu na jednu osobu ve vozidle v době sedla, kdy je autobus obsazen asi ze 75 %. Toto množství vychází srovnatelné s vozidlem NB18. Důvodem je nižší celková přepravní kapacita vozidla NBH 18, oproti vozidlu NB 18. Tento jev by se však po celkovém vyladění a

přizpůsobení pohonné jednotky, po kterém se ještě sníží spotřeba paliva, měl změnit, takže i tato hodnota CO₂ bude nižší. Výsledné hodnoty jsou v tab. č. 4.18 a č. 4.19.

Tab. č. 4.18: Spotřeby paliva SOR NBH 18

Číslo	Spotřeba motorové nafty		Spotřeba AdBlue (4,5 l/100 l nafty)		Finanční náklady (palivo, AdBlue)	
	[l/100 km]	[l/1 km]	[l/100 km]	[l/1 km]	[Kč/1 km]	[Kč · (osoba·km) ⁻¹] (99 míst obsaz.)
1	47,54	0,475	2,139	0,021	11,97	0,12
2	43,74	0,437	1,968	0,020	11,01	0,11

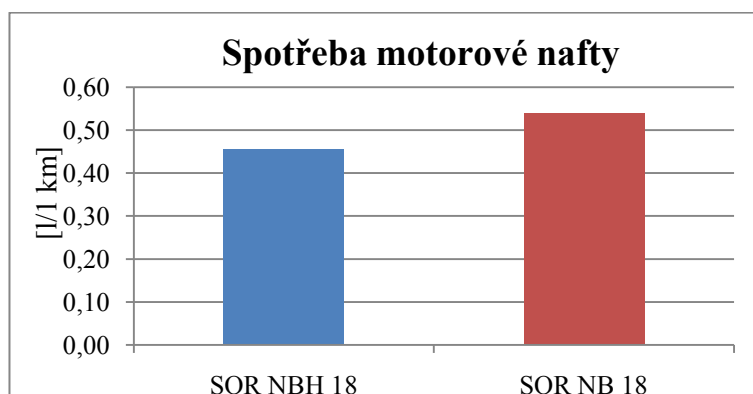
Zdroj:[Autor]

Tab. č. 4.19: Produkce emisí CO₂ SOR NBH 18

Číslo	Spotřeba motorové nafty		Produkce emisí CO ₂ katalyzátor, AdBlue	
	[l/100 km]	[l/1 km]	[g CO ₂ /1 km]	[g CO ₂ · (osoba·km) ⁻¹] (99 míst obsaz.)
1	47,54	0,475	1211,749	12,240
2	43,74	0,437	1114,891	11,262

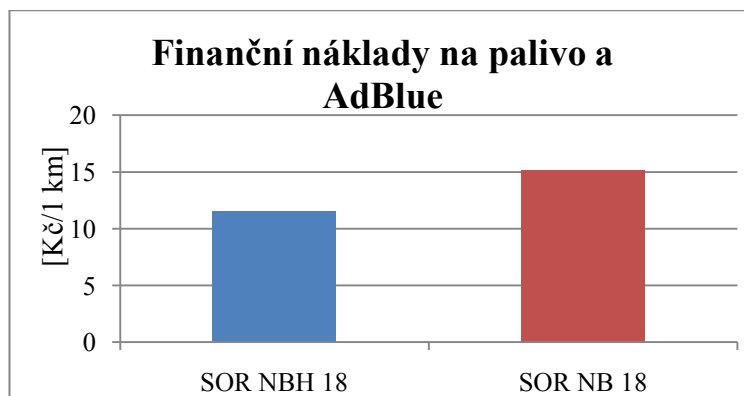
Zdroj:[Autor]

V grafu na obr. č. 4.11 jsem porovnal průměrné spotřeby motorové nafty u vozidla SOR NBH 18 a SOR NB 18. Jedná se o průměrné hodnoty spotřeby motorové nafty po ujetí jednoho kilometru.



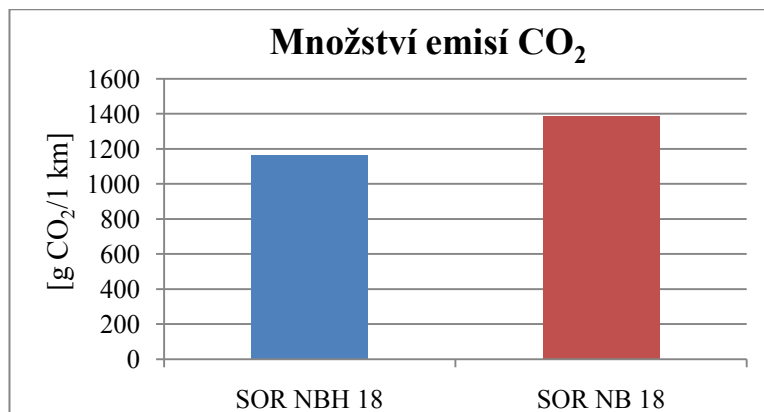
Obr. č. 4.11: Spotřeba motorové nafty Zdroj:[Autor]

V grafu na obr. č. 4.12 jsem porovnával finanční náklady na motorovou naftu a tekuté aditivum do výfukové soustavy u vozidla SOR NBH 18 a SOR NB 18.



Obr. č. 4.12: Finanční náklady na palivo a AdBlue Zdroj:[Autor]

Porovnání množství vyprodukovaných emisí vozidel SOR NB 18 a SOR NBH 18 jsem graficky znázornil a zobrazil na obr. č. 4.13.



Obr. č. 4.13: Množství emisí CO₂ Zdroj:[Autor]

4.3 Hodnocení spotřeby el. energie, paliva a produkce emisí autobusu SOR EBN 10,5

Spotřebu elektrické energie elektrobuse jsem vypočítal z hodnot, které jsem získal od Dopravního podniku Ostrava a.s. Tyto hodnoty jsem si rozdělil do dvou tabulek, do tab. č. 4.20 jsem zaznamenal hodnoty jízdy vozidla a do tab. č. 4.21 jsem zaznamenal hodnoty nabíjení vozidla (tato tabulka začíná od hodnoty 2, protože elektrobuse byl nabit z předchozího měsíce). V tab. č. 4.20 *Jízda* jsem zaznamenal údaje o ujetých kilometrech a o stavu nabití akumulátoru. Sloupec hodnocení jsem vypočítal podle vztahu:

$$H_{jízda} = \frac{km_{ujetě}}{\Delta nabíť_{akum.}} \quad [km \cdot 1 \%^{-1}] \quad [Autor] \quad (4.22)$$

Kde:

$H_{jízda}$	$[km \cdot 1 \%^{-1}]$	počet ujetých km na 1 % akumulátoru
Δl	$[km]$	rozdíl stavu tachometru
$\Delta nabíť_{akum.}$	$[\%]$	rozdíl nabití mezi koncem a začátkem jízdy

Výsledné hodnoty jsem uvedl v části tab. č. 4.20. Celou tabulku jsem uvedl v příloze číslo 10.

$$H_{jízda} = \frac{km_{ujetě}}{\Delta nabíť_{akum.}} = \frac{92}{22} = 4,182 \, km \cdot 1 \%^{-1}$$

Tab. č. 4.20: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 Jízda

Jízda							Hodnocení jízda
Číslo	počáteční stav tachometru [km]	konečný stav tachometru [km]	ujetě kilometry [km]	stav nabití akumulátoru			
				začátek jízdy [%]	konec jízdy [%]	rozdíl [%]	
1	9372	9464	92	62	40	22	4,182
2	9464	9586	122	100	41	59	2,068
3	9586	9644	58	100	68	32	1,813

Zdroj:[Autor]

V tab. č. 4.21 *Nabíjení* jsem zaznamenal údaje o nabíjení elektrobusu, uvedl jsem rozdíl dobití akumulátoru, stav elektroměru a hodnocení podle vztahu:

$$H_{nabíjení} = \frac{\Delta_{elektr.}}{\Delta_{dobití\,aku.}} \quad [kWh \cdot 1 \%^{-1}] \quad [Autor] \quad (4.23)$$

Kde:

$H_{nabíjení}$	$[kWh \cdot 1 \%^{-1}]$	počet kWh na nabití 1 % akumulátoru
$\Delta_{elektr.}$	$[kWh]$	rozdíl stavu elektroměru
$\Delta_{dobití\,aku.}$	$[\%]$	rozdíl dobití akumulátoru

Hodnoty jsem uvedl v části tab. č. 4.21. Celou tabulku jsem uvedl v příloze číslo 11.

$$H_{nabíjení} = \frac{\Delta_{elektr.}}{\Delta_{dobití\,aku.}} = \frac{112}{60} = 1,867 \, kWh \cdot 1 \%^{-1}$$

Tab. č. 4.21: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 Nabíjení

Nabíjení					Hodnocení nabíjení
Číslo (od 2)*	rozdíl dobití akumulátoru [%]	stav elektroměru			
		začátek nabíjení [kWh]	konec nabíjení [kWh]	rozdíl [kWh]	[kWh·1 % ⁻¹]
2	60	2815	2927	112	1,867
3	59	2927	3036	109	1,847
4	32	3036	3085	49	1,531

Číslo (od 2)* Elektrobus nabit z předchozího měsíce **Zdroj:[Autor]**

Spotřeba elektrické energie

$$S_{el.en.} = \frac{\Delta el.en}{\Delta km} \quad [\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}] \quad [\text{Autor}] \quad (4.24)$$

Kde:

$S_{el.en}$	[kWh·km ⁻¹]	spotřeba el. energie na 1 km
$\Delta el.en$	[kWh]	rozdíl stavu elektroměru
Δl	[km]	rozdíl stavu tachometru

$$N_{el.en \text{ a } MN} = (N_{MN} \cdot M_{MN}) + (N_{el.en} \cdot S_{el.en}) \quad [\text{Kč} \cdot \text{km}^{-1}] \quad [\text{Autor}] \quad (4.25)$$

Kde:

$N_{el.en \text{ a } MN}$	[Kč·km ⁻¹]	cena paliva a el. energie na 1 km
N_{MN}	[Kč]	cena 1 litru paliva
S_p	[l·km ⁻¹]	spotřeba paliva
$N_{el.en}$	[Kč]	cena 1 kWh el. energie
$S_{el.en}$	[kWh·km ⁻¹]	spotřeba el. energie na 1 km

Hodnoty ujetých kilometrů, ukazatele elektroměru nabíjecího panelu, spotřeba motorové nafty nezávislého topení a výsledné hodnoty podle vzorců (4.24) a (4.25) jsou uvedeny ve druhé části tab. č. 4.22. Do této práce jsem záměrně vložil druhou část tabulky, protože obsahuje spotřeby motorové nafty během zimního období. První část tabulky jsem uvedl v příloze číslo 12. Průměrná hodnota počtu ujetých kilometrů na jedno procento akumulátoru je 2,05 kilometrů na 1 % akumulátoru. Průměrná hodnota počtu spotřebovaných kWh na nabití jednoho procenta akumulátoru je 1,98 kWh na 1 % akumulátoru.

Tab. č. 4.22: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 (jednotlivé měsíce 2. část)

Měsíc/ sledované hodnoty	11. 2010	12. 2010	1. 2011	2. 2011
Počáteční stav tachometru [km]	11 486,00	13 511,00	15 096,00	15 799,67
Konečný stav tachometru [km]	13 511,00	15 096,00	15 799,67	17 979,42
Rozdíl [km]	2 025,00	1 585,00	703,67	2 179,75
Počáteční stav elektroměru [kWh]	6 494,80	8 449,60	10 712,10	11 370,40
Konečný stav elektroměru [kWh]	8 449,60	10 712,10	11 370,40	13 356,92
Rozdíl [kWh]	1 954,80	2 262,50	658,30	1 986,52
Spotřeba motorové nafty [l·měsíc ⁻¹] (nezávislé topení)	105,00	368,00	104,60	175,02
Spotřeba motorové nafty [l·km ⁻¹]	0,05	0,23	0,15	0,08
Cena motorové nafty [Kč·km ⁻¹]	1,42	6,37	4,08	2,20
Spotřeba elektrické energie [kWh·100 km ⁻¹]	96,53	118,00	93,55	91,14
Spotřeba elektrické energie [kWh ·km ⁻¹]	0,97	1,18	0,94	0,91
Cena el. energie a mot. nafty [Kč·km ⁻¹]	2,32	2,83	2,25	2,19

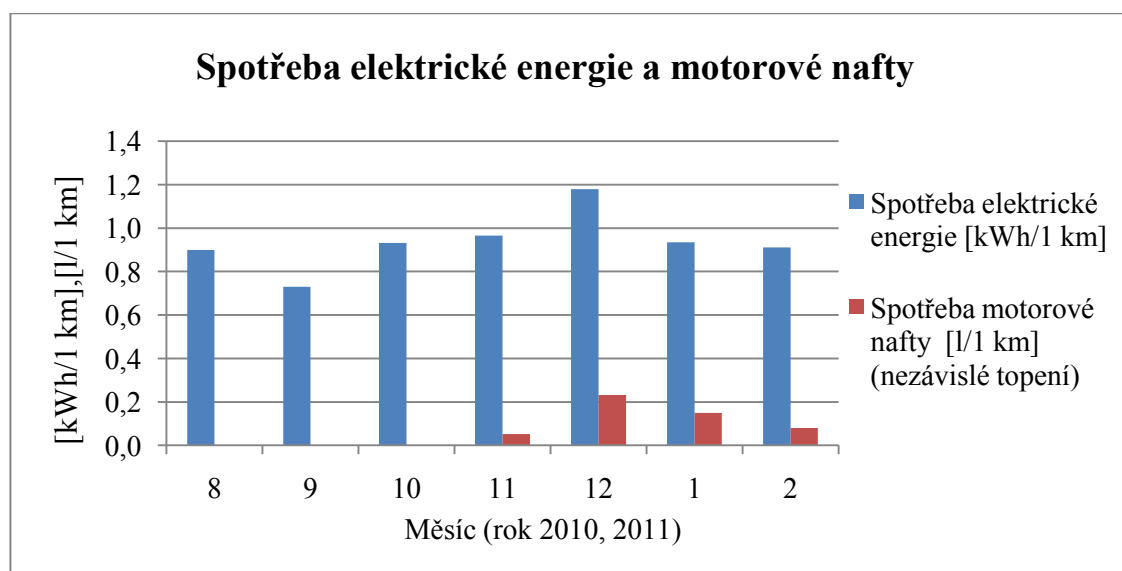
Zdroj:[Autor]

V tab. č. 4.23 jsem uvedl některé průměrné hodnoty, sledované v tab. č. 4.22, evidovaných měsíců. Doplnil jsem ji o hodnotu průměrné ceny elektrické energie a motorové nafty za ujetí jednoho kilometru na osobu v autobuse. Tuto cenu uvádím po dobu provozu v sedle, kdy je autobus obsazen asi ze 75 %, u tohoto autobusu to vychází asi na 63 osob. Výsledná hodnota mi vyšla 0,04 Kč· (osoba·km)⁻¹.

Tab. č. 4.23: Průměrné hodnoty elektrobusu EBN 10,5

Průměrné hodnoty elektrobusu EBN 10,5 (údaje od 8.2010 do 2.2011)	
Průměrný počet ujetých kilometrů [km·měsíc⁻¹]	2054,77
Průměrná spotřeba elektrické energie [kWh·měsíc⁻¹]	1944,27
Průměrná spotřeba elektrické energie [kWh·100 km⁻¹]	93,63
Průměrná cena elektrické energie a motorové nafty za kilometr [Kč·1 km⁻¹]	2,25
Průměrná cena elektrické energie a motorové nafty [Kč · (osoba·km)⁻¹] (sedlo, autobus obsazen ze 75 %, 63 obsazených míst)	0,04

Zdroj:[Autor]



Obr. č. 4.14: Spotřeba elektrické energie a motorové nafty Zdroj:[Autor]

Emise CO₂ elektrobusu nejsou zanedbatelné. Při *výrobě* elektrické energie je na jednu kWh vyprodukováno asi 670 g CO₂. Jedná se o výslednou hodnotu elektráren využívaných v ČR. Lokální emise v místě provozu elektrobusu jsou sice téměř nulové, když opomeneme systém vytápění vozidla v zimním období. Emise se však vyskytují v místě elektráren. Výsledný vztah produkce emisí v elektrárnách jsem uvedl ve vztahu (4.26). [23]

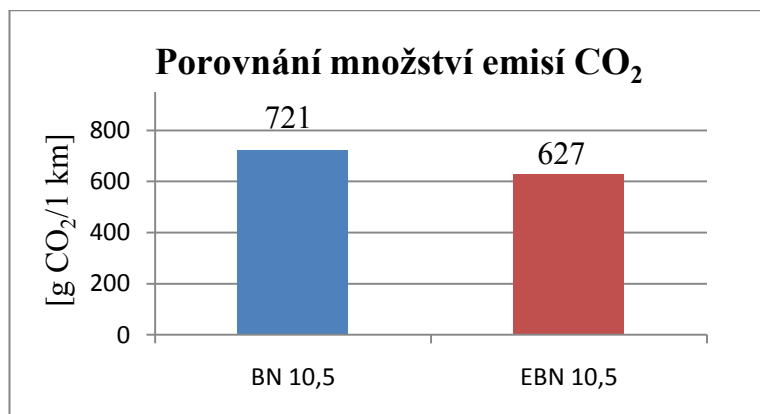
$$eCO_2 = S_{el.en.pr} \cdot e_{el} \quad [g \text{ CO}_2 \cdot km^{-1}] \quad [Autor] \quad (4.26)$$

Kde:

eCO_2	$[g \text{ CO}_2 \cdot km^{-1}]$	množství emisí pro výrobu el. energie na 1 km jízdy elektrobusu
$S_{el.en.pr}$	$[kWh \cdot km^{-1}]$	průměrná spotřeba el. energie elektrobusu na 1km
e_{el}	$[g \text{ CO}_2 \cdot kWh^{-1}]$	emise vzniklé při výrobě 1 kWh v elektrárně

Výpočet emisí CO₂ (4.26), nezapočítal jsem ztráty vedení a nabíjení.

$$eCO_2 = 0,936 \cdot 670 = 627,1 \text{ g CO}_2 \cdot km^{-1}$$



Obr. č. 4.15: Porovnání množství emisí CO₂ Zdroj:[Autor]

V grafu na obr. č. 4.15 jsem porovnal výsledné hodnoty vzniklých emisí CO₂ na ujetí jednoho kilometru u autobusu SOR BN 10,5 a elektrobusu SOR EBN 10,5. U elektrobusu se však nejedná o emise, které vznikají v místě provozu tohoto vozidla. Tyto emise vznikají při výrobě elektrické energie v místě umístění elektrárny, produkující emise.

5 Zhodnocení a doporučení

Na základě provedení spolehlivostní zkoušky pomocí Weibullova rozdělení jsem pomocí výpočtu určil střední vzdálenosti mezi poruchami. U autobusu SOR BN 10,5 mi tato hodnota pomocí příslušných vzorců vyšla 2172 kilometrů. U elektrobuse SOR EBN 10,5 jsem tuto hodnotu vypočítal stejným postupem, hodnota střední vzdálenosti mezi poruchami však vyšla pouze 156 kilometrů. Důvodem takto nízké hodnoty je to, že se jedná o první vozidlo tohoto druhu. Toto vozidlo je v provozu jen krátkou dobu a neustále dochází k jeho doladování. Lze však předpokládat, že hodnota střední vzdálenosti mezi poruchami bude u tohoto vozidla po jeho vyladění velice podobná jako u vozidla SOR BN 10,5. Autobus SOR EBN 10,5 je vyroben na základě vozidla SOR BN 10,5. U článkových autobusů jsem předešlým způsobem hodnotil pouze autobus se spalovacím motorem SOR NB 18. Hodnoty autobusu s hybridním pohonem SOR NBH 18 zatím v době zpracování této práce nebyly k dispozici. V současné době jsou vyrobeny pouze dva autobusy tohoto typu, které jezdí ve zkušebním provozu v Dopravním podniku hl. m. Prahy, akciové společnosti od ledna 2011. U autobusu SOR NB 18 jsem spočítal střední vzdálenost mezi poruchami, tato hodnota činí 2704 kilometrů. Jedná se o nejvyšší hodnotu z hodnocených autobusů.

Další vyhodnocení, které jsem u těchto autobusů provedl, se týkalo u autobusů SOR BN 10,5, SOR NB 18 a SOR NBH 18 spotřeby motorové nafty a přísady do výfukové soustavy. A u elektrobuse SOR EBN 10,5 spotřeby elektrické energie a spotřeby motorové nafty pro nezávislé topení. U autobusu SOR BN10,5 vyšla průměrná spotřeba paliva $28,3 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$, a cena za palivo a AdBleu na 1 km a jednu osobu $0,12 \text{ Kč} \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}$, v době sedla, kdy je autobus obsazen asi ze 75 %. U autobusu SOR EBN 10,5 vyšla průměrná spotřeba elektrické energie $93,6 \text{ kWh} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Cena za elektrickou energii a motorovou naftu pro činnost nezávislého topení na 1km a osobu, při shodných podmínkách jako v předešlém případě, vychází na $0,04 \text{ Kč} \cdot (\text{osoba} \cdot \text{km})^{-1}$. Průměrná spotřeba motorové nafty je u vozidla s hybridním pohonem SOR NBH 18 $45,63 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$, tato spotřeba však není z důvodu nízkého počtu najetých kilometrů zcela vypovídající. Dále je nutné zohlednit neustálé doladování a programování vozidla. Autobus SOR NB 18 dosahuje průměrné spotřeby $54,3 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Porovnáním těchto hodnot jsem u autobusu s hybridním pohonem, který má provozní hmotnost o 2000 kg vyšší, než autobus se spalovacím motorem, zjistil úsporu paliva asi 16 %. V okamžiku, optimálního vyladění motoru s převodovkou, dojde k dalšímu výraznému snížení spotřeby paliva, a tím i nižší produkci emisí.

Proto jsem v této práci dále vypočítal podle daného vztahu množství emisí CO_2 , které vzniknou po ujetí jednoho kilometru těmito vozidly. Emise CO_2 nepatří mezi emise, které jsou obsaženy v emisích Euro norem. Vzorec, podle kterého jsem počítal vzniklé množství je udáván v jednotkách $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$. Tato jednotka je vhodnější pro porovnání např. s produkcí emisí u osobních vozidel. Navíc u elektrobuse a některých typů hybridních pohonů se při zastavení v zastávce, nebo z důvodu dopravní situace pohon automaticky vypne. Výsledné hodnoty vzniklých emisí jsem přepočítal na osobu v jednotlivých typech autobusu. Opět je možné porovnat s množstvím emisí vzniklých u osobního automobilu. U vozidla s hybridním pohonem SOR NBH 18 mi při přepočtu na jednu osobu vyšla velice podobná hodnota, jako u vozidla se spalovacím motorem. Důvodem je nižší kapacita vozidla NBH 18. U vozidla s hybridním pohonem jak jsem již uvedl, neustále dochází k doladování. Tato situace se po vyladění a snížení spotřeby samozřejmě změní. Dále jsem počítal i emise u elektrobuse. Hodnota lokálních emisí je sice nulová, v případě že není počítáno s emisemi vzniklými při spalování motorové nafty v nezávislém topení. Je však nutné si uvědomit, že při výrobě elektrické energie emise CO_2 a jiné emise vznikají. Tyto emise ale vznikají při výrobě elektrické energie potřebné nejen pro pohon elektrobuse. Proto je možné příčiny vzniku emisí přisuzovat využití nepříliš vhodným zdrojům elektrické energie.

Z hodnot, ke kterým jsem pomocí výpočtů došel, plyne, že použitím hybridního pohonu je jednou z možností jak snížit spotřebu paliva a tím i provozní náklady. Zároveň dochází ke snížení produkce emisí, což má pozitivní vliv na životní prostředí. Autobus, u kterého je využit pohon trakčním elektrickým motorem, dosahuje téměř nulových hodnot lokálních emisí. Náklady na provoz elektrobuse za energie mi vyšly nižší než u vozidla se spalovacím motorem. Je však nutné připočítat i pořizovací náklady na výměnu akumulátorů, které je nutné asi v polovině životnosti autobusu vyměnit za nové. Náklady na palivo u autobusu s hybridním pohonem také vychází nižší, oproti klasickému spalovacímu motoru. Pořizovací náklady autobusu s hybridním pohonem jsou asi o 35 % vyšší, než u autobusu se spalovacím motorem. Pořizovací náklady elektrobuse jsou asi o 76 % vyšší než u autobusu se spalovacím motorem. Tyto náklady by se však po zavedení sériové výroby snížily.

Výsledky zjištěné v této práci, potvrzují důvody, kvůli kterým jsou tyto vozidla vyráběny. Jedná se především o nižší spotřebu paliva, a tím nižší produkci emisí. U elektrobuse provoz na elektrickou energii, s téměř nulovými místními emisemi. Po zavedení sériové výroby by došlo ke snížení pořizovacích nákladů. Zároveň by došlo i ke snížení poruchovosti vozidel, které se projevují u prototypů. Proto se domnívám, že je možné tyto vozidla doporučit i ostatním zájemcům o provoz vozidel, které nemají tak negativní vliv na životní prostředí.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo technické a provozní hodnocení hybridního pohonu a pohonu elektrickým motorem při použití ve vozidlech městské hromadné dopravy.

Ve druhé kapitole této práce jsem uvedl legislativní požadavky a předpisy týkající se elektromobilů a vozidel s hybridním pohonem.

Ve třetí kapitole s názvem *Technické řešení hybridních pohonů* jsem popsal základní rozdělení hybridních pohonů, možných zdrojů energie pro provoz vozidla a druhy elektrických motorů, které lze u této aplikace použít. Následně jsem stručně představil firmu SOR Libchavy spol. s r.o., která je výrobcem autobusů hodnocené v této práci. V závěru této kapitoly jsem popsal autobus s hybridním pohonem SOR NBH 18 a elektrobus SOR EBN 10,5. Tyto autobusy jsem porovnával s autobusy SOR BN 10,5 a SOR NB 18 se spalovacím motorem, které jsem stručně popsal v příloze.

Ve čtvrté kapitole *Provozní hodnocení systémů u autobusů* jsem tyto autobusy porovnával na základě spolehlivostní zkoušky pomocí Weibullova rozdělení. U jednotlivých autobusů jsem vypočítal střední vzdálenosti mezi poruchami, kromě autobusu SOR NBH 18 u kterého v době zpracování této práce nebyly zatím údaje o poruchách k dispozici. Dále jsem podle vztahů vypočítal náklady na palivo, přísady do výfukové soustavy u vozidel se spalovacím a hybridním pohonem a elektrickou energii včetně motorové nafty pro nezávislé topení u elektrobusu. Na závěr jsem vypočítal a porovnal množství vzniklých emisí CO₂ při provozu jednotlivých autobusů.

7 Seznam použité literatury

- [1] Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů, BEN – Technická literatura, Praha 2004, ISBN 80-7300-127-6
- [2] Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel, František Vlk, Brno 2004, ISBN 80-239-1602-5
- [3] Famfulík, J.: Teorie údržby, VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2006, ISBN 80-248-1029-8
- [4] Surovec, P.: Provoz a ekonomika silniční dopravy I, VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2001, ISBN 80-7078-732-X
- [5] SOR Informace o vozidlech NBH 18, EBN 10,5
- [6] UITP Project SORT Standardised On-Road Tests Cycles, UITP, Brusel 2010
- [7] Bezpečnost elektromobilů [online], [25. 2. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://elektromobil.vseznamu.cz/bezpecnost-elektromobil>>.
- [8] Legislativa elektromobilů [online], [25. 2. 2011]. Dostupné na WWW:
< http://www.elektromobily.org/wiki/Legislativa_k_elektromobil%C5%AFm>.
- [9] Elektrická silniční vozidla [online], [7. 3. 2011]. Dostupné na WWW:
<<http://shop.normy.biz/show.php?categoryID=ics&ics=43.120>>.
- [10] Legislativa [online], [22. 3. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://www.mdcr.cz/cs/default.htm>>.
- [11] Černohorský, T.: Diplomová práce [online], [25. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
<http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/34072/1/CernohorskyT_Hybridni_posunovaci_JS_2009.pdf>.
- [12] Hybridní pohony automobilů [online], [25. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241>>

- [13] Autobus s hybridním pohonem [online], [25. 1. 2011]. Dostupné na WWW:
<<http://www.sor.cz/site/index.php>>.
- [14] Autobus s hybridním pohonem [online], [7. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=7640>>.
- [15] Indruch, J.: Stend pro analýzu rekuperace energie v experimentálním vozidle [online], [22. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
< http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=1181>.
- [16] Trakční asynchronní motor TAM [online], [17. 3. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://www.pragoimex.cz/i/File/TAM%201052C6B.pdf>>.
- [17] AdBlue [online], [7. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://cs.wikipedia.org/wiki/AdBlue>>.
- [18] AdBlue [online], [11. 3. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://www.maha-cz.cz/cz/produkty/adblue-tankovaci-system-flaco/>>.
- [19] Emise oxidu uhličitého ze splování motorové nafty [online], [8. 3. 2011].
Dostupné na WWW: < <http://www.epa.gov/OTAQ/climate/420f05001.pdf>
- [20] Two-Mode Urban Transit Hybrid Bus In-Use FuelEconomy Results from 20 Million Fleet Miles. Peter K. Chiang General Motors Powertrain
- [21] VOKÁČ, Luděk. Auta na setrvačnick nejsou jen pro děti. Používat je budou i ve formuli 1. *Auto.idnes.cz* [online]. [8. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
<<http://auto.idnes.cz/auta-na-setrvacnik-nejsou-jen-pro-deti>>.
- [22] SOR Libchavy spol. s r.o. [online]. [8. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
< <http://www.eholding.cz/vyrobce-autobusu-sor-libchavy-predstavil-prototyp-elektrobusu-a-hybridni-autobus-1>>.
- [23] Emise CO₂ [online]. [8. 4. 2011]. Dostupné na WWW:
<<http://elektromobil.vseznamu.cz/ekologie-a-elektromobily/porovnani-exhalaci-elektromobil-a-automobil>>.
- [24] Akumulátor Optima [online]. [17. 11. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://ekolo.sweb.cz/Main/baterie.html>>.

8 Seznam příloh

Příloha číslo 1	Popis autobusu SOR BN 10,5
Příloha číslo 2	Tab. č. 4.1: Poruchy autobusu SOR BN 10,5
Příloha číslo 3	Tab. č. 4.5: Poruchy autobusu SOR EBN 10,5
Příloha číslo 4	Elektrický motor TAM 1052 C6B
Příloha číslo 5	Popis autobusu SOR NB 18
Příloha číslo 6	Tab. č. 4.9: Poruchy autobusu SOR NB 18
Příloha číslo 7	Popis AdBlue
Příloha číslo 8	Popis metody měření spotřeby paliva SORT
Příloha číslo 9	Popis Výpočtu emisí CO ₂
Příloha číslo 10	Tab. č. 4.20: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 Jízda
Příloha číslo 11	Tab. č. 4.21: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 Nabíjení
Příloha číslo 12	Tab. č. 4.22: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 (jednotlivé měsíce 1. část)

Přílohy v elektronické podobě na přiloženém CD

Příloha číslo 1e	Tab. č. 4.3: Hodnoty grafu parametrů rovnice SOR BN 10,5
Příloha číslo 2e	Tab. č. 4.4: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR BN 10,5
Příloha číslo 3e	Tab. č. 4.8: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR EBN 10,5
Příloha číslo 4e	Tab. č. 4.11: Hodnoty grafu parametrů rovnice SOR NB 18
Příloha číslo 5e	Tab. č. 4.12: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR NB 18
Příloha číslo 6e	Tab. č. 4.13: Hodnoty spotřeby a nákladů SOR BN 10,5
Příloha číslo 7e	Tab. č. 4.14: Hodnoty produkce emisí SOR BN 10,5
Příloha číslo 8e	Tab. č. 4.15: Hodnoty spotřeby a nákladů SOR BN 18
Příloha číslo 9e	Tab. č. 4.16: Hodnoty produkce emisí SOR NB 18

Příloha číslo 1 Popis autobusu SOR BN 10,5

SOR BN 10,5 je dvounápravový, třídvěřový autobus určený pro přepravu osob v městském provozu. Převážná kapacita je 60 stojících a 30 sedících osob. Dvě třetiny autobusu mají sníženou podlahu, u středních dveří je plošina pro bezbariérový nástup a výstup imobilních osob. Autobus je poháněn řadovým, šestiválcovým spalovacím motorem Iveco Tector F4AE3682F s maximálním výkonem 185 kW při 2500 min⁻¹ a točivým momentem 850 Nm při 1250 min⁻¹. Tento motor se vstřikovacím systémem Common Rail splňuje emisní normu EURO 5. Výkon a točivý moment motoru je na zadní nápravu přenášen šesti stupňovou automatickou převodovkou Allison T280R s hydraulickým retardérem. Autobus může být vybaven brzdovým systémem EBS. [5]



Obr. č. 1p: SOR BN 10,5 Zdroj: [5]

Příloha číslo 2 Tab. č. 4.1: Poruchy autobusu SOR BN 10,5

Název poruchy	Vzdálenost do poruchy [km]
Řídící jednotka EOD 24.2 (dálkové ovládání dveří)	462
Čerpadlo chladicí kapaliny	1 500
Ventil ruční brzdy	1 863
Akumulátorový odpojovač	3 415
Spínač spouštěče	10 873
Motorek topení	11 357
Vysokotlaké trubky k vstřikovačům	12 440
Výměna motoru	13 500
Pojistka proti zamrznutí na 1. válci	13 780
Páčky ovládací E4 (tempomat)	13 928
Odkalovací ventil	15 200
Indikátor opotřebení brzdového obložení	21 100
Senzor ABS k nápravě DANA	22 058
Spouštěč	22 759
Pedál akceleratoru	29 427
Ovládací páčka IVECO	30 562
Boční pravé obrysové světlo	36 949
Převodník CAN	37 482
Jednotka čerpací APO 24 V (ostřikovač čelního skla)	39 768
Regulátor tlaku paliva	40 000
Ložiska v předních kolech	40 085
Bezkontaktní spínač spojky	40 472
Pojistka silentbloku levého předního ramene	41 400
Magnetický ventil	43 000
Chladič HAUGG	43 423
Čidlo výšky hladiny	46 326
Snímač vody v palivu	51 625
Panel ERD 24.2 (ovládání dveří)	56 853
Silentblok převodovky	58 431
Zvuková signalizace	58 780
Motorek stěračů	60 250
Kryt a držák výfuku	63 000
Alternátor	65 916
Výměna spojkového celku	66 800
Snímač smogové klapky M 006	68 113
Snímač ABS	72 250
Řídící jednotka	73 875
Snímač IVECO	79 078
Ovladač dveří OK 100	81 601

Ventil topení 3/2 Wabco	85 000
Válec dveří	86 500
Diferenciál DANA	87 640
Palivové potrubí	101 457
Snímač palivový pákový	104 356
Seřízení ABS	108 356
Kompresor a vysoušeč	109 868
Akumulátor	109 990
Odlučovač oleje	135 448
Hlavní brzdič DX75BX	139 491

Zdroj:[Autor]

Příloha číslo 3 Tab. č. 4.5: Poruchy autobusu SOR EBN 10,5

Porucha	Vzdálenost do poruchy [km]
Nefunkční ukazatel stavu akumulátoru	1608,2
Problikává signalizace otevřených 2. dveří	2097,7
Problikává signalizace otevřených 2. dveří	1114,6
Spínač ventilu 2. dveří – dochází k sepnutí	2303,4
Svítil kontrolka STOP	69,4
Svítil kontrolka schrány nabíjení	324,1
Přerušuje se dodávka energie	462,9
Po rozjezdu se samovolně vypne	625,0
Porucha rychlého nabíjení	826,8
Nefunkční staniční brzda	1644,6
Porucha: MALE VCC BEH	1095,0
Nefunkční ukazatel stavu akumulátoru	584,0
Kontrolka MTB svítí	876,0
Porucha: CAN VER1 DM1	949,0
Osvětlení RZ	1825,1

Zdroj:[Autor]

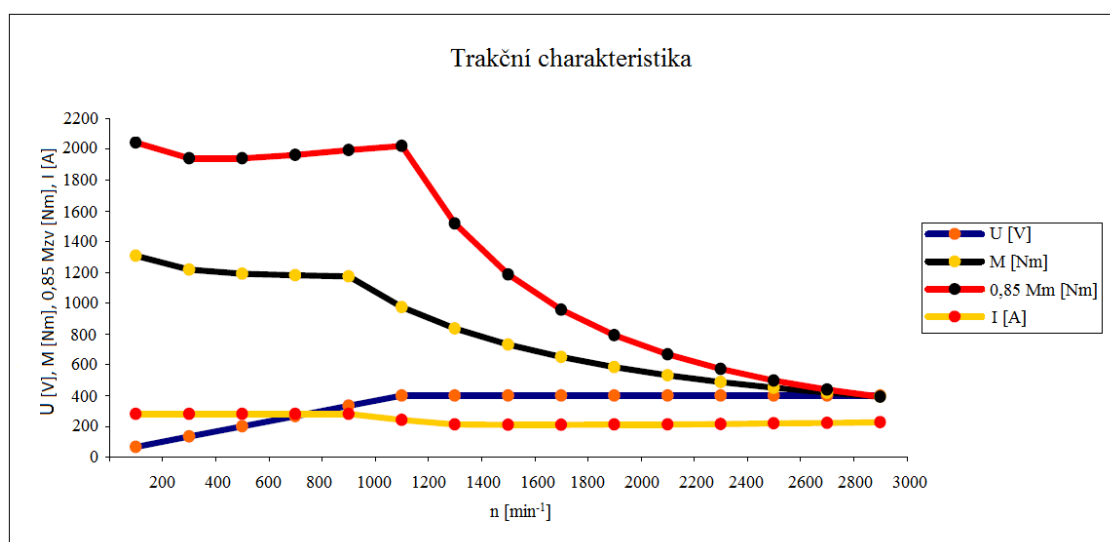
Příloha číslo 4 Elektrický motor TAM 1052 C6B

Elektrický motor TAM 1052 C6B je šesti pólový asynchronní motor, uzavřený s kotvou nakrátko, chlazený kapalinou, návrh a výroba tohoto motoru vyhovuje normě IEC 349. Hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 1p. Jedná se o trakční elektromotor pro pohon vozidel. [16]

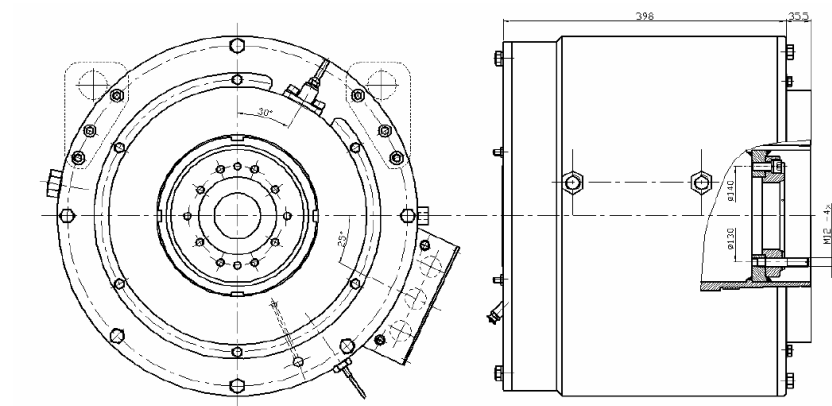
Tab. č.1p: Hodnoty trakčního elektrického motoru

Zátěž	S1	Napětí	400 V
Výkon	120 kW	Proud	213 A
Frekvence	70 Hz	Moment	835/1785 Nm
Otáčky	1373 min ⁻¹	cos φ	0,867
Účinnost	93%	Hmotnost	430 kg
U _{test}	5600 V _{DC}	Tvar	IM 1001
n _{max}	3400 min ⁻¹	Chlazení	kapalina
třída izolace	200	Krytí	IP 56

Zdroj:[16]



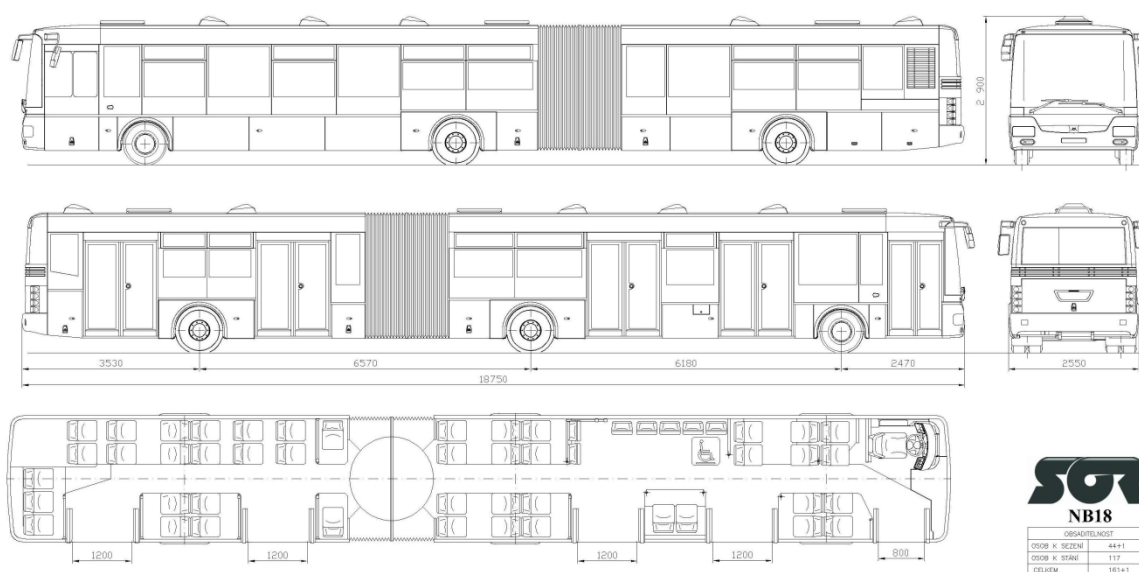
Obr. č. 2: Trakční charakteristika elektrického motoru TAM 1052 C6B Zdroj:[16]



Obr. č. 3: Elektrický motor TAM 1052 C6B Zdroj:[16]

Příloha číslo 5 Popis autobusu SOR NB 18

SOR NB 18 CITY je článkový, městský autobus, jeho přepravní kapacita je až 161 osob. Jedná se o plně nízkopodlažní autobus, jehož konstrukce je založena na typu NB 12. Toto konstrukční řešení a použití pěti bočních dveří umožňuje snadnou a rychlou výměnu cestujících. Originální konstrukce kloubového spojení vyvinuta firmou SOR, je doplněna hydraulickou regulací od firmy Glentor a elektronickou regulací od firmy Vires-Electronics. Elektronická regulace tlumí, nebo reguluje natáčení kloubu, podle aktuálního režimu jízdy. Podvozek vozidla byl konstrukčně upraven s důrazem na zlepšení jízdních vlastností vozidla. V převisu levého zadního boku je umístěn šestiválcový spalovací motor Iveco CURSOR F2BE3681B o objemu 7790 ccm³. Maximální výkon motoru je 243 kW při 2050 min⁻¹ s maximálním točivým momentem 1500 Nm při 1125 – 1600 min⁻¹. Šestistupňová automatická převodovka zaručuje plynulou a hospodárnou jízdu vozidla. Mezi prvky aktivní bezpečnosti vozidla patří systém ABS-ASR. [5]



Obr. č. 4p: SOR NB 18 Zdroj: [5]

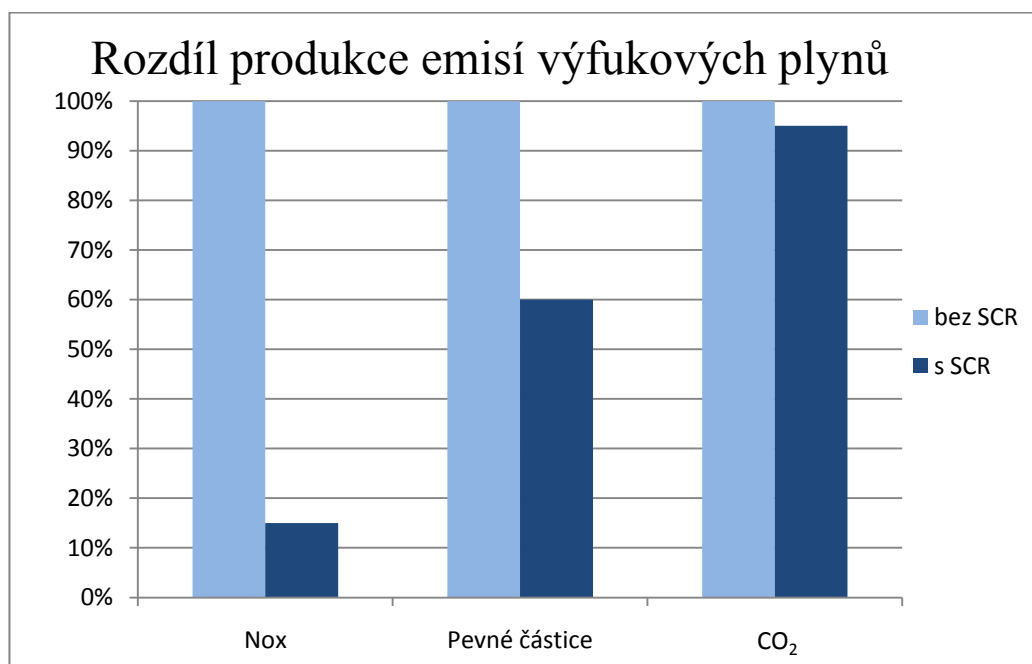
Příloha číslo 6 Tab. č. 4.9: Poruchy autobusu SOR NB 18

Porucha	Vzdálenost do poruchy [km]
ABS snímač pravý – náprava VOITH	8120
Nádrž močoviny	12716
Těsnění olej. vany E III.	15396
Válec hydraulický PHM 80/40 – 541,5 (NB 18)	17700
Čerpadlo podávací	18027
Kladka AC9 032 033	28932
Kompresor dvouválcový EA 79 – 0505 motor Cursor 8	30092
Pedál akcelérátoru C 12	35645
Silentblok převodovky C12 001 046 (40Sh)	40018
Palivová soustava	45954
Cívka pro B9 1/8,1/4 – 24V=/60 V	47757
ABS snímač levý – náprava VOITH	48768
Vložka topení	51129
Ventilátor střešní 24V	53727
Silentblok 3648	54055
Tyč řízení NB18 743 103	54950
Držák sklopné sedačky – pravý	57086
Jednotka čerpací APO 050.01 24 V	57637
Brzdíč hlavní DX75BX	60472
Svítilna obrysová boční LED typ SMLR 964 295	61231
Hadice METAFLEX nerez (115/0N0 – O 0600 – 00923)	61743
Spínač dveří s protikusem	63596
Držák jemného filtru NB18 042 004	64819
Senzor NOx	65430
Ventil ovládání turbodmychadla (PWM) – Cursor 8	74122
Čerpadlo vodní universální	76271
Ventilátor 24 V SPAL	77317
Čerpadlo chladicí kapaliny	80016
Signalizátor couvání SC – 2T	80454

Zdroj:[Autor]

Příloha číslo 7 Popis AdBlue

AdBlue je obchodní název pro kapalné aditivum, vyráběné průmyslovou syntézou amoniaku a oxidu uhelnatého. Tato technologie je využívána pro úpravu výfukových plynů vznětových motorů pomocí selektivní katalytické redukce (SCR). Důvodem je redukce obsahu pevných částic, a tím dosažení hodnot emisních Euro norem. Toto aditivum je vodní chemicky vysoce čistý roztok močoviny (32,5 % močoviny a 67,5% vody), které je dále specifikováno v normě DIN 70070. Jedná se o netoxickou kapalinu. Dávkování AdBlue je plně automaticky řízeno podle pokynů řídicí jednotky v závislosti na úrovni redukce oxidu dusíku výfukových plynů. Spotřeba tohoto aditiva je asi 3 až 7 % spotřebovaného paliva, dle stupně Euro normy. Princip činnosti spočívá ve vstřikování tohoto aditiva před katalyzátor do výfukového potrubí, ve kterém proudí výfukové plyny, již neobsahují pevné částice. Močovina je vlivem teploty a přítomností vody rozložena na amoniak a oxid uhličitý. Amoniak reaguje s oxidy dusíku vznikající při procesu spalování motorové nafty. Zároveň dochází ke snížení obsahu oxidu uhličitého ve výfukových plynech. Z výfukové soustavy proudí vodní pára a dusík. [17,18]



Obr. č.: 5p Rozdíl produkce emisí výfukových plynů Zdroj: [Autor]

Příloha číslo 8 Popis metody měření spotřeby paliva SORT

Účelem tohoto projektu bylo navrhnout zkušební cykly, pro měření spotřeby pohonných hmot autobusů. Tím jsou dosaženy shodné provozní podmínky, ze kterých je možno určit spotřebu pohonných hmot pro autobusy různých značek. Výsledky měření spotřeby jednotlivých provozovatelů nejsou obecně použitelné, protože k měření dochází při různých podmínkách provozu. Dosavadní zkoušky motorů na spotřebu paliva neberou v úvahu provoz autobusů ve veřejné dopravě tj. zastávka – jízda – zastávka.

Pro měření spotřeby pohonných hmot však bylo nutné navrhnout jednotlivé cykly zahrnující cestovní rychlost vozidla, zatížení, průměrnou dobu zastavení v zastávkách a průměrnou vzdálenost mezi zastávkami. Pro zkoušku byly definovány tři cykly tab. č. 2p a to městský cyklus – SORT 1, kombinovaný cyklus – SORT 2 a příměstský cyklus – SORT 3. Každý cyklus je složen z modulů, které lze libovolně opakovat a tím zvýšit přesnost naměřených hodnot. Jednotlivé moduly obsahují tři sekce. Každá z těchto sekcí dále obsahuje rozjezd vozidla, jízdu konstantní rychlostí a zpomalování až do zastavení, hodnota zrychlení, konstantní rychlosti a zpomalení jsou při této zkoušce zadány. Dále je na konci určitých sekcí určena doba zastavení z důvodu dopravní situace, nebo na konci zbylých sekcí zastavení simulující nástup a výstup cestujících.

Naměřené hodnoty nelze pokládat za naprosto přesné spotřeby paliva, protože jsou naměřeny při zkušebních situacích, navíc je nutné brát ohled na styl jízdy, počet cestujících, klimatické a zeměpisné podmínky. Projekt SORT je však při dodržování podmínek měření účinný nástroj pro měření a porovnávání spotřeby pohonných hmot autobusů veřejné dopravy různých výrobců. [6]

Tab. č.: 2p Tabulka hodnot jednotlivých zkoušek Zdroj:[6]

Parametry	SORT 1	SORT 2	SORT 3
Jmenovité průměrná rychlost [km/h]	12,6	18,6	26,3
Zastávky [km]	5,8	3,3	2,1
Zastavení [%]	39,7	33,4	20,1
Lichoběžník 1 v_{konst} [km/h], délka [m]	20 / 100	20 / 100	30 / 200
Akcelerace [m/s^2]	1,03	1,03	0,77
Lichoběžník 2 v_{konst} [km/h], délka [m]	30 / 200	40 / 220	50 / 600
Akcelerace [m/s^2]	0,77	0,62	0,57
Lichoběžník 3 v_{konst} [km/h], délka [m]	40 / 220	50 / 600	60 / 650
Akcelerace [m/s^2]	0,62	0,57	0,46
Doba zastavení [s]	20 / 20 / 20	20 / 20 / 20	20 / 10 / 10
Celková délka [m]	520	920	1450
Zpomalení [m/s^2]	0,8	0,8	0,8
Spotřeba paliva [l/100 km]	přibližně 50	přibližně 42	přibližně 39

Příloha číslo 9 Popis Výpočtu emisí CO₂

Výpočet emisí CO₂ je založen na emisních faktorech, které vycházejí z chemických rovnic spalování paliva, vyjadřující obsah uhlíku v palivu. Doporučením IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) je nutné uvažovat, že nedochází k optimálnímu spalování paliva, dokonale spáleno je asi 99% objemu paliva. Hmotnost uhlíku je přepočtena na hmotnost emisí CO₂ pomocí poměru atomové hmotnosti uhlíku (12 g/mol) a molekulové hmotnosti CO₂ (44 g/mol). Emise CO₂ vzniklé spálením 1 galonu motorové nafty jsou vyděleny hodnotou 3,7584, protože 1 galon je přibližně 3,7584 litru. Výsledkem je množství emisí CO₂ z jednoho litru spálené motorové nafty. Abychom získali emise CO₂ na jeden ujetý kilometr, vynásobíme předchozí hodnoty spotřebu vozidla v litrech na 100 km a následně vydělíme 100. [19]

Vzorec podle EPA (Environmental Protection Agency):

$$emise\ CO_2\ z\ 1\ galonu\ motorové\ nafty = 2778 \cdot 0,99 \cdot \frac{44}{12} = 10\ 084\ [g \cdot galon^{-1}]$$

1 galon je přibližně 3,7584 litru

$$emise\ CO_2 = \frac{10084}{3,7584} \cdot \frac{Sp}{100} [g\ CO_2 \cdot km^{-1}]$$

Kde:

emise CO ₂	[g CO ₂ · km ⁻¹]	emise CO ₂ při spalování motorové nafty na 1 km
10 084	[g · galon ⁻¹]	emise CO ₂ z 1 galonu motorové nafty
3,7584	[-]	přepočet z 1 galonu na 1 litr
Sp	[l · 100 km ⁻¹]	měrná spotřeba paliva

Příloha číslo 10 Tab. č. 4.20: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 Jízda

Jízda							Hodnocení jízda
Číslo	počáteční stav tachometru [km]	konečný stav tachometru [km]	ujetě kilometry [km]	stav nabití akumulátoru			[km/1 %]
				začátek jízdy [%]	konec jízdy [%]	rozdíl [%]	
1	9372	9464	92	62	40	22	4,182
2	9464	9586	122	100	41	59	2,068
3	9586	9644	58	100	68	32	1,813
4	9644	9766	122	100	35	65	1,877
5	9766	9874	108	100	41	59	1,831
6	9874	10074	200	100	32	68	2,941
7	10074	10234	160	95	39	56	2,857
8	10234	10241	7	59	55	4	1,750
9	10241	10316	75	100	60	40	1,875
10	10316	10395	79	95	58	37	2,135
11	10395	10470	75	100	63	37	2,027
12	10470	10566	96	96	50	46	2,087
13	10566	10647	81	93	60	33	2,455
14	10647	10744	97	90	40	50	1,940
15	10744	10747	3	65	63	2	1,500
16	10747	10798	51	63	35	28	0,000
17	10798	10799	1	38	36	2	1,821
18	Elektrobus se nabíjel ve dvou fázích			36	36	0	-
				58	100	0	-
19	10799	10875	76	100	60	40	1,900
20	10875	10971	96	93	40	53	1,811
21	10971	11046	75	100	60	40	1,875
22	11046	11143	97	90	40	50	1,940
23	11143	11218	75	92	55	37	2,027
24	11218	11314	96	90	40	50	1,920
25	11314	11389	75	89	50	39	1,923
26	11389	11486	97	85	38	47	2,064

Zdroj:[Autor]

Příloha číslo 11 Tab. č. 4.21: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5 Nabíjení

Nabíjení					Hodnocení nabíjení
Číslo (od 2)*	rozdíl dobítí akumulátoru [%]	stav elektroměru			[kWh/1 %]
		začátek nabíjení [kWh]	konec nabíjení [kWh]	rozdíl [kWh]	
2	60	2815	2927	112	1,867
3	59	2927	3036	109	1,847
4	32	3036	3085	49	1,531
5	65	3085	3205	120	1,846
6	59	3205	3317	112	1,898
7	63	3317	3446	129	2,048
8	20	5156	5205	49	2,450
9	45	5205	5282,2	77,2	1,716
10	35	5282,2	5354,1	71,9	2,054
11	42	5354,1	5431,5	77,4	1,843
12	33	5431,5	5498	66,5	2,015
13	43	5498	5591,3	93,3	2,170
14	30	5591,3	5662,3	71	2,367
15	25	5662,3	5706,6	44,3	1,772
16	0	Elektrobus se nenabíjel			
17	3	5706,6	5713	6,4	2,133
18	0	Další nabíjení, bez jízdy			
	22	5713	5771,5	58,5	2,659
19	0	Elektrobus se nenabíjel			
20	33	5823,3	5890,2	66,9	2,027
21	60	5890,2	5995,4	105,2	1,753
22	30	5995,4	6064,8	69,4	2,313
23	52	6064,8	6176,1	111,3	2,140
24	35	6176,1	6245,1	69	1,971
25	49	6245,1	6344,5	99,4	2,029
26	35	6344,5	6415,3	70,8	2,023
27	Násled. měsíc	6415,3	6494,8	79,5	Násled. měsíc

Zdroj:[Autor]

Číslo (od 2)* Elektrobus jel na 1. jízdu měsíce nabit z předchozího měsíce

**Příloha číslo 12 Tab. č. 4.22: Hodnoty elektrobusu SOR EBN 10,5
(jednotlivé měsíce 1. část)**

Měsíc/ sledované hodnoty	8. 2010	9. 2010	10. 2010
Počáteční stav tachometru [km]	3 596,00	6 899,00	9 372,00
Konečný stav tachometru [km]	6 899,00	9 372,00	11 486,00
Rozdíl [km]	3 303,00	2 473,00	2 114,00
Počáteční stav elektroměru [kWh]	1 031,00	4003–5156	2815–3446
Konečný stav elektroměru [kWh]	4 003,00	2441–2769	5156–6494,8
Rozdíl [kWh]	2 972,00	1 806,00	1 969,80
Spotřeba motorové nafty [l/ měsíc] (nezávislé topení)	–	–	–
Cena motorové nafty [Kč/1 km]	–	–	–
Spotřeba motorové nafty [l/1 km]	–	–	–
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	89,98	73,03	93,18
Spotřeba elektrické energie [kWh/1 km]	0,90	0,73	0,93
Cena [Kč/1 km]	2,16	1,75	2,24

Zdroj:[Autor]

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval pedagogům Institutu dopravy, Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava za trpělivý přístup při předávání znalostí během mého studia, vedoucímu práce Ing. Michalu Richtářovi za ochotu a poskytování cenných rad při zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům firmy SOR Libchavy spol. s r. o., především Ing. Rudolfu Sýkorovi za umožnění zpracování této práce a Ing. Janu Černému za konzultace dané problematiky. Děkuji také Dopravnímu podniku Ostrava a.s. za poskytnutí informací.

Poděkování také patří celé mé rodině, která mi morální a finanční podporou umožnila studium na vysoké škole.